



Optimal kvælstoftildeling til korn

responsfunktioner og metode til produktionsøkonomisk analyse af Landsforsøgene med kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af Normudvalgets indstillinger

Ørum, Jens Erik; Lund Jensen, Johannes; Thomsen, Ingrid Kaag; Knudsen, Leif

Publication date:
2019

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):

Ørum, J. E., Lund Jensen, J., Thomsen, I. K., & Knudsen, L. (2019). *Optimal kvælstoftildeling til korn: responsfunktioner og metode til produktionsøkonomisk analyse af Landsforsøgene med kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af Normudvalgets indstillinger*. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport Nr. 281

IFRO Rapport



Optimal kvælstoftildeling til korn

– responsfunktioner og metode til
produktionsøkonomisk analyse af
Landsforsøgene med kvælstoftildeling til
vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af
Normudvalgets indstillinger

Jens Erik Ørum

Johannes Lund Jensen

Ingrid Kaag Thomsen

Leif Knudsen

IFRO Rapport 281

Optimal kvælstoftildeling til korn – responsfunktioner og metode til produktionsøkonomisk analyse af Landsforsøgene med kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af Normudvalgets indstillinger

Forfattere: Jens Erik Ørum¹, Johannes Lund Jensen², Ingrid Kaag Thomsen², Leif Knudsen³

¹ Institut for Fødevarer og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet

² Institut for Agroøkologi (AGRO), Aarhus Universitet

³ SEGES



Udgivet februar 2019

ISBN: 978-87-93768-04-8

Rapporten er udarbejdet efter bestilling af Landbrugsstyrelsen og i henhold til aftalen mellem Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi og Miljø- og Fødevarerministeriet om forskningsbaseret myndighedsberedskab.

I forhold til en tidligere cirkuleret men ikke udgivet version af rapporten er afsnit 4 og 6 opdateret, så valideringen af normindstillinger og kvælstofprognoser nu er i overensstemmelse med den validering, der blev præsenteret for Normudvalget 18. december 2018. Desuden er nummereringen af tabeller og figurer ændret og sammendrag, konklusion, diskussion og perspektivering opdateret med henblik på at imødekomme og tydeliggøre pointer og input fra Normudvalgsmødet.

Se hele rapportserien på http://www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/rapporter/

Se også myndighedsaftalte udredninger på www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/udredninger/

Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi

Københavns Universitet

Rolighedsvej 25

1958 Frederiksberg C

www.ifro.ku.dk

Sammendrag og konklusion

Til brug for rådgivning om økonomisk optimal kvælstoftildeling, til fastsættelse af økonomisk optimale kvælstofnormer samt til udredning af omkostningerne ved en reduceret kvælstoftildeling (normreduktion) er der udviklet en responsfunktion (IQP2) og en Kvælstof (N) ResponsModel (NREMO) til at udlede og forklare afgrødernes udbyttepotentiale og kvælstofbehov med videre. Responsfunktion og NREMO er estimeret på og afprøvet med data fra Landsforsøgene med stigende kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg i perioden 1992-2018.

Den valgte responsfunktion (IQP2), der er sammensat af et andengradspolynomium (P2) og en invers kvadratisk funktion (IQ), giver en meget høj forklaringsgrad for de enkelte forsøg for kerne- og proteinudbytte i såvel vinterhvede som vårbyg. I responsfunktionen (IQP2) indgår der, ud over tildelt mængde kvælstof (x) fem andre agronomisk og produktionsøkonomisk relevante parametre. Den første parameter udtrykker det estimerede udbyttepotentiale (Y). Den anden parameter udtrykker, hvor meget plantetilgængeligt, mineraliseret kvælstof afgrøden i løbet af vækstsæsonen har optaget fra jordpuljen (puljekvælstof, x_0). Den tredje parameter (m) beskriver den mængde, tildelt plus mineraliseret puljekvælstof, der kræves for at opnå den maksimale udbytterespons. Endelig indgår to generelle responsparametre, der beskriver, hvor meget kvælstof der kræves, før responsen går fra produktionsøkonomisk fase I til II (q), samt graden af udbyttetab ved tildeling af kvælstof ud over den mængde, der sikrer det maksimale udbytte (k).

Der er på dette grundlag etableret en generel model (NREMO) til forklaring af de udledte responsparametre (Y , x_0 , m) på basis af klimadata, jordtype og forfrugter med videre. Et væsentligt resultat af de gennemførte analyser på landsforsøgsdata og udvikling af forklaringsmodellen er, at der er store regionale, primært jordtype-, forfrugts- og klimabetingede, forskelle i såvel responsparametre som optimal kvælstoftildeling. Udvaskning af kvælstof fra jordpuljen, primært i vinterhalvåret, har vist sig at have væsentlig betydning for vinterhvedens vækst og kvælstofbehov. Således kan modelberegning af vinterhvedens kvælstofbehov, baseret på udvaskning og vintertemperatur til og med marts, forklare en væsentlig del af den årlige variation i afgrødernes kvælstofbehov. Model og metode vil efter behov også kunne anvendes til beregning af optimal kvælstoftildeling for andre afgrøder, hvor der foreligger et stort forsøgsmateriale.

Med den valgte funktionalitet (IQP2) og metode (NREMO) har det været muligt at beregne kvælstofnormer for vinterhvede og vårbyg, der ligger meget tæt på, hvad der er indstillet af Normudvalget for 2017/18.

Normudvalgets kvælstofprognoser fra 1995 til 2016, der er baseret på ændringer i N-min-indholdet vurderet ud fra jordprøver taget i Kvadratnettet medio februar, har for vinterhvede været sammenlignet med arealvægtet, NREMO-beregnet mineraliseret puljekvælstof, defineret som mineraliseret kvælstof fra jordpuljen. Der er for hele perioden en rimelig korrelation mellem Normudvalgets kvælstofprognoser og den modelberegnete mængde mineraliseret puljekvælstof for vinterhvede opgjort for hele landet og på tværs af jordtyper, men der er også mange år, hvor der på trods af samstemmende fortegn, er store forskelle mellem de to metoder.

For 2016, 2006 og 2002, der er eksempler på år med forskellig geografisk omfordeling og forskellige fortegn for den årlige justering af kvælstofbehovet, ligger også den rumlige fordeling af Normudvalgtes prognose tæt på den NREMO-beregnete korrektion baseret på mængde mineraliseret puljekvælstof for vinterhvede. Modsat Normudvalgtes korrektioner, er de NREMO-beregnete korrektioner for vinterhvede imidlertid generelt størst for sandjord og mindst for lerjord. For vårbyg har det, i modsætning til vinterhvede og på trods af et stort forsøgsgrundlag, ikke været muligt at NREMO-beregne en signifikant korrektion baseret på vinterens udvaskning og temperaturforhold. Det gør det vanskeligt at vurdere, hvordan en korrektion af optimal tildeling ved vækstsæsonen start, baseret på vinterhvede, kan overføres til såvel vårbyg som øvrige afgrøder.

NREMO er ikke dimensioneret og estimeret en gang for alle, men kan løbende tilpasses med henblik på test og hypotesegenerering for diverse sammenhænge, opdatering af diverse trends og en forbedret forklaring af afgrødernes udbytterespons. NREMO kræver en løbende vedligeholdelse med nye forsøg for at kunne følge udviklingen i klima og trends.

Indhold

1	Introduktion og baggrund	4
2	Materialer og metoder	5
2.1	Produktionsøkonomiske overvejelser	5
2.1.1	Klassisk produktionsøkonomisk responsfunktion	5
2.1.2	Valg af responsfunktion.....	6
2.1.3	Økonomisk optimum	7
2.2	Splejset responsfunktion (spline) med mulighed for Liebig plateau	8
2.3	Forsøgsdesign og præcision i Landsforsøgene	9
2.4	Prisforudsætninger	10
3	Vinterhvede: data, model og resultater	11
3.1	Estimerede responsparametre for enkeltforsøg	11
3.1.1	Valg af generelle responsparametre og supplerende observationer.....	11
3.1.2	Forsøgsleddenes fordeling på produktionsøkonomiske faser	12
3.2	NREMO for vinterhvede	12
3.2.1	Modellens forklaringsgrad.....	20
3.3	NREMO responsparametre for jordtyper og regioner	22
3.4	Regional fordeling af optimal kvælstoftildeling	26
3.5	Omkostninger ved reduceret kvælstoftildeling.....	31
4	Vinterhvede: normindstillinger og prognoser	33
4.1	Forskel på løsninger med P2/3 og IQP2 for vinterhvede	33
4.2	Sammenligning af kvælstofnormer for vinterhvede	33
4.3	Sammenligning af estimerer for forfrugtsværdier i vinterhvede	37
4.4	Sammenligning af kvælstofprognoser for hele landet 1995-2016.....	37
4.5	Sammenligning af rumlig fordeling for kvælstofprognoser 2016, 2006 og 2002.....	39
5	Vårbyg: data, model og resultater.....	42
6	Sammenligning af forfrugt og kvælstofnormer for vårbyg.....	49
7	Diskussion og perspektivering	51
8	Referencer	52
	Bilag 1. Udledning af formel til beregning af tab ved reduceret kvælstoftildeling	54
	Bilag 2. Forholdstal for kerneudbytte i vinterhvedesorter 1987-2017.	55
	Bilag 3. Forholdstal for kerneudbytte i vårbygssorter 1987-2017.	56

1 Introduktion og baggrund

Til brug for rådgivning om økonomisk optimal kvælstoftildeling samt til beregning af omkostningerne ved en reduceret kvælstoftildeling til landbrugsafgrøderne (normreduktion) er der et generelt behov for produktions- og responsfunktioner, der beskriver den funktionelle sammenhæng mellem kvælstoftildeling og udbytter. Særligt effekten af kvælstof til vinterhvede og vårbyg har gennem mere end 30 år været grundigt og systematisk afprøvet i Landsforsøgene. På baggrund af disse forsøg er der under Normudvalget udledt økonomisk optimale kvælstofnormer og forfrugtsværdier samt til brug for rådgivningstjenesten udledt diverse sammenhænge mellem kvælstoftildeling, kerne- og proteinudbytte i vinterhvede og vårbyg. Normudvalget har fokus på den økonomisk optimale tildeling til afgrøderne (kvælstofnormerne). Den optimale tildeling er imidlertid ikke stabil, men bestemmes af de aktuelle prisforhold og afregningsprincipper for afgrøde, protein og kvælstof, der varierer fra år til år. Det gælder desuden, at Normudvalget ikke beregner udbyttetab og omkostninger ved en eventuel normreduktion.

Formålet med nærværende rapport er, med kerne- og proteinudbytte for vinterhvede og i begrænset omfang vårbyg som eksempel, at demonstrere, hvorledes afgrødernes kvælstofrespons kan udtrykkes med simple, robuste, produktionsøkonomisk og agronomisk konsistente responsfunktioner, der kan anvendes til en lang række formål som fx rådgivning om økonomisk optimal kvælstoftildeling, normfastsættelse samt omkostninger ved en reduceret kvælstoftildeling, udbyttekorrektur af kvælstofnormer, forfrugtsvirkning og eftervirkning af organisk gødning.

Opgaven er et metodestudie bestilt af Landbrugsstyrelsen (LBST) i 2016 med henblik på, at IFRO, Københavns Universitet, kunne etablere dels et produktionsøkonomisk grundlag for beregning af optimal kvælstoftildeling samt omkostninger ved reduceret kvælstoftildeling til landbrugsafgrøderne, dels som muligt supplement til Normudvalgets analyser af samme. Bestillingen var rettet til Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO), dog med et klart ønske om, at Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet (AU-AGRO) og SEGES så vidt muligt skulle inddrages. Metodestudiet og analyserne er således gennemført af IFRO assisteret af AU-AGRO samt SEGES, der har stillet forsøgs- og klimadata til rådighed. Der har i såvel 2016, 2017 og 2018 været afholdt en række arbejds møder med henholdsvis SEGES og AU-AGRO, og arbejdet har undervejs i processen været præsenteret for Normudvalget, en arbejdsgruppe under Normudvalget samt en intern AU arbejdsgruppe.

Et notat med beskrivelse af de foreløbige muligheder og resultater (IFRO dokumentation 2018/1) har været til rådighed for LBST og Normudvalget siden januar 2018. Analyserne i nærværende dokumentation er udvidet med detaljerede teksturdata, detaljerede klimadata fra én og samme kilde, kvalitetssikrede og korrigerede forsøgsdata samt yderligere forsøgsdata for 2016 og 2017. Desuden er der i nærværende rapport gennemført en mere detaljeret validering af Normudvalgets normindstillinger og kvælstofprognoser.

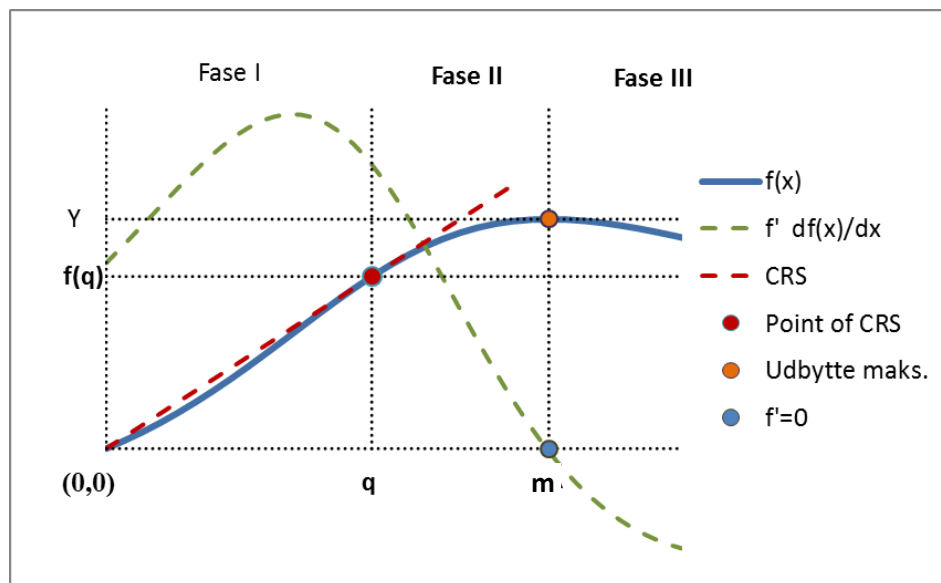
Den primære målgruppe for nærværende rapport er forskere, konsulenter og medarbejdere ved IFRO, AU-AGRO, SEGES og LBST med tilknytning til Normudvalget.

2 Materialer og metoder

2.1 Produktionsøkonomiske overvejelser

2.1.1 Klassisk produktionsøkonomisk responsfunktion

Med en klassisk produktionsøkonomisk tilgang kan en produktionsfunktion opdeles i tre produktionsøkonomiske faser (I-III), hvor der i fase I er stigende skalaafkast, i fase II er aftagende skalaafkast, men positiv marginaludbytte, og i fase III er negativ marginaludbytte (Figur 2.1).



Figur 2.1 Klassisk, produktionsøkonomisk responsfunktion $f(x)$ med tre produktionsøkonomiske faser (I-III). Konstant skalaafkast (Point of CRS) og maksimalt udbytte (Y) opnås ved tildeling af x svarende til henholdsvis q og m .

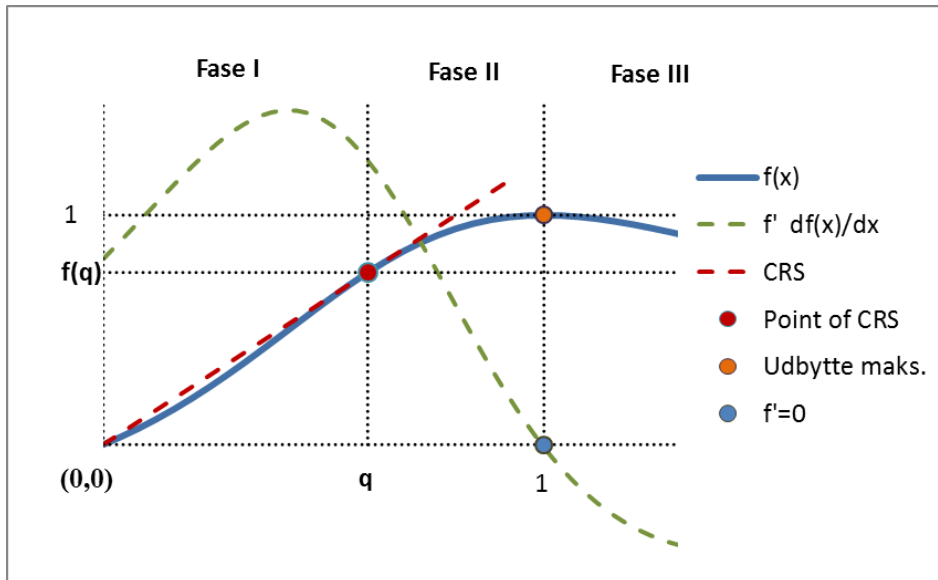
Produktionsfunktionen skal, som den viste i Figur 2.1, være kontinuert og to gange differentiabel samt yde udbytte på nul ved nul input og yde et positivt udbytte ved alle input større end nul. Et økonomisk optimum vil altid findes i fase II, hvor der er aftagende, men positivt marginaludbytte. Produktionsfunktionen er defineret for alle positive input, voksende for alle positive input mindre end m og aftagende, men positiv for alle input $>m$. Det vil aldrig være økonomisk optimalt at tildele mindre end q og mere end m pr. arealenhed. Ved et kvotebegrænset input, vil det således være økonomisk optimalt at tildele mængden q pr. arealenhed, så langt kvoten rækker, mens det resterende areal lades ubehandlet. Selv ved et omkostningsfrit input skal input aldrig overstige m . Det skal i øvrigt altid vurderes, om ingen tildeling og dermed ingen produktion er et økonomisk bedre alternativ. En økonomisk optimal tildeling vil med andre ord altid være nul ($x = 0$) eller findes i fase II ($x \in [q, m]$).

Det er valgt, at responsfunktionen skal udtrykkes ved responsparametrene q , Y og m . Når det maksimale udbytte sættes til 1, og kvælstofinput n udtrykkes ved tildelt kvælstof x plus mineraliseret kvælstof x_0 relativt til m , hvor $n = 1$ for $x + x_0 = m$, fremkommer en normeret responsfunktion (Figur 2.2).

Det observerede udbytte y kan udtrykkes ved udbyttepotentialet Y gange det normerede udbytte

$$1) \quad y = Yf(n, q)$$

$$2) \quad n = \frac{x+x_0}{m}$$



Figur 2.2. Normeret responsfunktion $f(x)$ med tre produktionsøkonomiske faser (I-III). Konstant skalaafkast (Point of CRS) og maksimalt udbytte (1) opnås ved tildeling af n svarende til hhv. q og 1.

2.1.2 Valg af responsfunktion

En invers kvadratisk responsfunktion (IQ) (Ligning 3) opfylder alle ovenfor nævnte produktionsøkonomiske krav til en responsfunktion.

$$3) \quad \frac{f(n)}{n} = \frac{1}{an^2+bn+c}$$

Når $f(1) = 1$ og $f'(1) = 0$ medfører det, at $b = a$ og $c = 1 - 2a$ og dermed

$$4) \quad f(n) = \frac{1}{an + \frac{a}{n} + 1 - 2a}$$

Når $f(q)/q = f'(q)$ i point of CRS medfører det, at $a = \frac{1}{2(1-q)}$ og dermed

$$5) \quad f(n) = \frac{1-q}{\frac{1}{2}\left(n + \frac{1}{n}\right) - q}$$

Responsfunktionen i Figur 2.2 er baseret på Ligning 5.

Når den inverse kvadratiske responsfunktion skrives helt ud (afnormeres), gælder:

$$6) \quad y(x) = Y \frac{1-q}{\frac{1}{2}\left(\frac{x+x_0}{m} + \frac{m}{x+x_0}\right) - q}$$

Et andengradspolynomium (Ligning 7) opfylder en del af ovennævnte produktionsøkonomiske krav til en responsfunktion.

$$7) \quad f(n) = an^2 + bn + c$$

Når $f(1) = 1$ og $f'(1) = 0$ medfører det, at $a = -2a$ og $c = 1 + a$ og dermed

$$8) \quad f(n) = an^2 - 2an + 1 + a$$

Når $f(q)/q = f'(q)$ i point of CRS medfører det, at $a = \frac{1}{q^2-1}$ og dermed fremkommer det normerede andengradspolynomium:

$$9) \quad f(n) = \frac{2n-n^2-q^2}{1-q^2} \quad \text{svarende til} \quad f(n) = 1 - \frac{(1-n)^2}{1-q^2}$$

Det fremgår, at nul input medfører negativt udbytte når $q > 0$. I tilfælde af udtrykt fase I er denne funktion ikke egnet som responsfunktion.

$$10) \quad f(0) = -\frac{q^2}{1-q^2}$$

Når andengradspolynomiet (P2) skrives helt ud (afnormeres), fremkommer:

$$11) \quad y(x) = Y \frac{\left(2\frac{x+x_0}{m} - \left(\frac{x+x_0}{m}\right)^2 - q^2\right)}{1-q^2} \quad \text{svarende til} \quad y(x) = Y \left(1 - \frac{\left(1 - \frac{x+x_0}{m}\right)^2}{(1-q^2)}\right)$$

2.1.3 Økonomisk optimum

Til bestemmelse af det økonomiske optimum kan opstilles en profitfunktion (Ligning 12), hvor udbytte aflønnes med prisen p , og input (n) aflønnes med prisen w .

$$12) \quad \pi = pf(n) - wn$$

Det økonomiske optimum findes ved løsning af førsteordensbetingelsen (Ligning 13)

$$13) \quad \frac{d\pi}{dn} = 0 \Leftrightarrow pf' = w \Leftrightarrow f' = \frac{w}{p}$$

f' for det normerede inverse kvadratiske responsfunktion (Ligning 14)

$$14) \quad f' = -\frac{(1-q)\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)}{\left(\left(n + \frac{1}{n}\right) - 2q\right)^2}$$

f' for det normerede andengradspolynomium (Ligning 15)

$$15) \quad f' = \frac{2-2n}{1-q^2}$$

Det fremgår, at den optimale tildeling n^* kan udledes direkte fra det normerede andengradspolynomium, mens det kræver et indledende gæt og efterfølgende forbedrede gæt (med anvendelse af Gauss-Newton algoritme¹) at beregne n^* for den normerede inverse kvadratiske responsfunktion.

For det normerede andengradspolynomium gælder:

$$16) \quad n^* = \frac{w(1-q^2)}{2p}$$

Med det fulde andengradspolynomium kan optimal kvælstoftildeling x^* beregnes:

$$17) \quad x^* = m \left(1 - \frac{wm(1-q^2)}{2pY}\right) - x_0$$

¹ Gauss-Newton algoritme. Se fx Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Gauss%E2%80%93Newton_algorithm

2.2 Splejset responsfunktion (spline) med mulighed for Liebig plateau

For at opnå en responsfunktion, der opfylder de produktionsøkonomiske betingelser, og hvor den optimale kvælstoftildeling kan udledes direkte, er det valgt at sammensætte (spline) fase I og III fra den inverse kvadratiske responsfunktion med andengradspolynomiets fase II (Ligning 18) hvor $n = \frac{x+x_0}{m}$:

$$18) \quad f(x) = \begin{cases} \frac{1-q}{\frac{1}{2}(n+\frac{1}{n})-q}, & n \in [0, q] \text{ or } n \in [1, \infty] \\ \frac{2n-n^2-q^2}{1-q^2}, & n \in [q, 1] \end{cases}$$

I praksis kan fase I og fase III være fraværende. Når fase III er fraværende, betyder det, at udbyttet ikke falder ved tildeling af en stor mængde kvælstof ($n > 1$). Med det normerede andengradspolynomium og den normerede inverse kvadratiske responsfunktion er det marginale udbytte i fase III implicit givet. For at give plads til en eksplicit hældning i fase III (og mulighed for at kunne teste for et Liebig plateau) kan der tilføjes en plateauparameter k . Når $k=0$ er hældningen 0 i fase III (et Liebig plateau) og med $k = 1$ svarer hældningen i fase III til hældningen i den inverse kvadratiske responsfunktion.

Her ses den endelige splejsede funktion (spline) med plateauparameter:

Funktion $y(x, Y, x_0, m, q, k)$

'Udbytte y er funktion af tildelingen x samt Y (maks. udbytte), x_0 (mineraliseret N), m (krævet N for maks. udbytte), q (CRS parameter) og k (plateauparameter).

$$n = \frac{x+x_0}{m}$$

'Her normeres N-tildelingen så fx $n = 1$ når $x = m - x_0$

If $n > 1$ **then** $n = 1 + k(n - 1)$ 'Når $k \neq 1$ og $n > 1$ korrigeres for ikke-symmetrisk plateau
'(k altid ≥ 0 og $k = 0$ svarer til strengt Liebig-plateau)

If $n > q$ **and** $n < 1$ **then**

$$y = Y \frac{2n-n^2-q^2}{1-q^2}$$

'Fase II - andengradspolynomium

Else

$$y = Y \frac{1-q}{\frac{1}{2}(n+\frac{1}{n})-q}$$

'Fase I og III – invers kvadratisk respons

End If

End Funktion

Den splejsede funktion (spline) er en kontinuert og glat funktion. Den 1. ordens afledte (dvs. $(x)/dx$) er ligeledes en kontinuert funktion, men har knæpunkt når $n=1$ (dvs. ved $x+x_0 = m$) og $k \neq 1$.

For fase II kan udbytte y , økonomisk optimal tildeling x^* og økonomisk optimalt udbytte y^* beregnes således (p er kernepris og w er kvælstofpris):

$$y = Y \left(\frac{2\frac{x+x_0}{m} - \left(\frac{x+x_0}{m}\right)^2 - q^2}{1-q^2} \right)$$

$$19) \quad x^* = M \left(1 - \frac{wm(1-q^2)}{2pY} \right) - x_0$$

$$y^* = Y \left(1 - \left(\frac{wm}{2pY} \right)^2 (1-q^2) \right)$$

Når værdi af protein indregnes, kan økonomisk optimal tildeling x^* beregnes således (små og store bogstaver for henholdsvis kerne, protein udbytte og priser):

$$20) \quad x^* = \frac{\frac{2py(1-n)}{1-q^2} + \frac{2PY(1-N)}{1-Q^2}}{\frac{2py}{1-q^2} + \frac{2PY}{1-Q^2} + w}$$

Uanset om den inverse kvadratiske eller den splejsede funktion (spline) benyttes som responsfunktion, skal responsparametrene (vektor β) nødvendigvis udledes ved ikke-lineær regression. Med anvendelse af Gauss-Newton algoritme til ikke-lineær regression kan s parametre (j) på grundlag af r observationer (obs_i) med t gennemløb (k) og afvigelse σ_j , meget forenklet, bestemmes således, hvor J er jacobian matrice, ε er vektor med i residualer, og dz_j er et marginalt stød til parameter j :

$$21) \quad \varepsilon_i = obs_i - y_i(\beta_k) \quad i \in (1, r)$$

$$22) \quad J_{i,j} = dy_i(\beta_k + dz_j)/dz_j \quad j \in (1, s)$$

$$23) \quad \beta_{k+1} = \beta_k - (J^T J)^{-1} (J^T \varepsilon) \quad k \in (1, t)$$

$$24) \quad \sigma^2 = \frac{1}{i-s} \sum (obs_i - y_i(\beta))^2$$

$$25) \quad \sigma_j = \sigma \text{diag} (J^T J)^{-1}$$

For at undgå fejlskud i den iterative proces kan/bør algoritmen udbygges til en Levenberg-Marquardt algoritme² med *damping factor* λ således:

$$26) \quad \beta_{k+1} = B_k - (J^T J + \lambda \text{diag} J^T J)^{-1} (J^T e)$$

Med en plateauparameter kræver det i alt fem parametre at beregne udbytte med den splejsede funktion (spline). Med typisk seks niveauer for kvælstoftildeling, som i fx Landsforsøgene, giver det maks. én frihedsgrad, og det er vanskeligt (umuligt) at estimere signifikante responsparametre for et enkelt forsøg.

I praksis og meget bekvemt kan q og k -parametrene, med ubetydeligt tab af forklaringsgrad, holdes konstante (pr. afgrøde). De største, korrigerede R^2 -værdier opnås således med fælles q og k -parametre og tilføjelse af en ekstra, vægtet observation, der udtrykker en forventet værdi for m -parameteren samt individuelle Y , x_0 og m -parametre pr. forsøg. Når q , k og m -parametrene kan bestemmes på grundlag af mange forsøg, øges antal frihedsgrader i praksis fra 1 til 4 og Y og x_0 -parametrene kan bestemmes med en stor sikkerhed.

2.3 Forsøgsdesign og præcision i Landsforsøgene

I Landsforsøgene med stigende kvælstoftildeling til vinterhvede tildeles de første 50 kg N pr. ha midt marts, og den resterende del midt april, mens der i vårbyg tildeles én gang umiddelbart før såning. Der er som regel seks led med 0, 40, 80, 120, 160 og 200 kg N pr. ha til vårbyg og seks led med 0, 50, 100, 150, 200 og 250 kg N pr. ha til vinterhvede. Med gode forfrugter som fx kløvergræs er et eller to led med de største tildelinger ofte udeladt. Med tiden er den øvre grænse på 200 og 250 kg N pr. ha ikke længere tilstrækkelig til, i alle tilfælde, at afdække udbyttepotentialet. For en del nyere forsøg er der tilføjet ekstra led på 300 kg N pr. ha i vinterhvede. I tillæg til de seks led er der ofte tilføjet led med anden timing for tildeling, andre gødningstyper, splittet tildeling, placeret tildeling og så videre. Udbytterne er bestemt med en sikkerhed (standardafvigelse) på 4-6 hkg pr. ha. I nærværende analyse er forsøg med manglende oplysninger om fx kvælstofoptag i kerne, koordinater eller tekstur udeladt. Derfor reduceres 1051 forsøg i vinterhvede til 718

² Levenberg-Marquardt algoritme. Se fx Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Levenberg%E2%80%93Marquardt_algorithm

anvendte forsøg, mens 408 forsøg i vårbyg reduceres til 366 anvendte forsøg. De benyttede forsøg er udført i perioden fra 1992 til 2016.

2.4 Prisforudsætninger

Ved hjælp af de estimerede responsparametre kan der for de enkelte forsøg (med Ligning 19 og 20) beregnes optimal kvælstoftildeling for forskellige prisrelationer. I diverse regneeksempler i nærværende dokumentation er benyttet følgende prisforudsætninger, der så vidt muligt afspejler prisrelationerne benyttet ved indstilling af økonomisk optimale normer i 2016/17:

Kvælstofpris: 7,78 kr. pr. kg N

Proteinpris: 4,00 kr. pr. kg

Vinterhvedepris (9,5 pct. protein i tørstof og 15 pct. vandindhold): 125 kr. pr. hkg

Vårbygpris (9,5 pct. protein i tørstof og 15 pct. vandindhold): 123 kr. pr. hkg

Vandindhold i kerne: 15 pct.

Tørstof i kerne: 85 pct.

Omregning fra kvælstof i hvedekerner til protein: 5,7 kg protein pr. kg N

Omregning fra kvælstof i vårbygkerner til protein: 6,25 kg protein pr. kg N

Ved beregning af proteinkorrigeret optimal kvælstoftildeling indgår, ligesom ved Normudvalgets indstilling af normer, 75 pct. af proteinprisen (dvs. 3,00 kr. pr. kg protein).

Med en samlet kernepris på fx 125 kr. pr. hkg for hvede med 85 pct. tørstofindhold, 9,5 pct. protein pr. kg tørstof, kan prisen for hvedekerne p_S (Tabel 2.1), når værdien af protein ved en proteinpris på 4,00 kr. pr. kg protein er fratrasket, beregnes med følgende ligning:

$$p_S \left[\frac{\text{kr.}}{\text{hkg}} \right] = 125 \left[\frac{\text{kr.}}{\text{hkg}} \right] - 4,0 \left[\frac{\text{kr.}}{\text{kg}} \right] 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{hkg}} \right] 85\% 9,5\% = 92,7 \left[\frac{\text{kr.}}{\text{hkg}} \right]$$

Tabel 2.1 Værdi af proteinindhold (kr. pr. hkg) ved stigende proteinindhold og -pris.

Proteinpct. i kernetørst.	Proteinpris (kr. pr. kg)									
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
	Proteinværdi (kr. pr. hkg kerne)									
8,0%	7	10	14	17	20	24	27	31	34	37
8,5%	7	11	14	18	22	25	29	33	36	40
9,0%	8	11	15	19	23	27	31	34	38	42
9,5%	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
10,0%	9	13	17	21	26	30	34	38	43	47
10,5%	9	13	18	22	27	31	36	40	45	49
11,0%	9	14	19	23	28	33	37	42	47	51
11,5%	10	15	20	24	29	34	39	44	49	54
12,0%	10	15	20	26	31	36	41	46	51	56
12,5%	11	16	21	27	32	37	43	48	53	58

Ved anvendelse af ovenstående prisforudsætninger fremkommer en kornpris på 100,8 kr. pr. hkg, forudsat at værdien af protein afregnes særskilt, men kun med 75 pct. af proteinprisen:

$$p_S \left[\frac{\text{kr.}}{\text{hkg}} \right] = 125 \left[\frac{\text{kr.}}{\text{hkg}} \right] - 75\% 3,93 \left[\frac{\text{kr.}}{\text{kg}} \right] 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{hkg}} \right] 85\% 9,5\% = 100,8 \left[\frac{\text{kr.}}{\text{hkg}} \right]$$

3 Vinterhvede: data, model og resultater

3.1 Estimerede responsparametre for enkeltforsøg

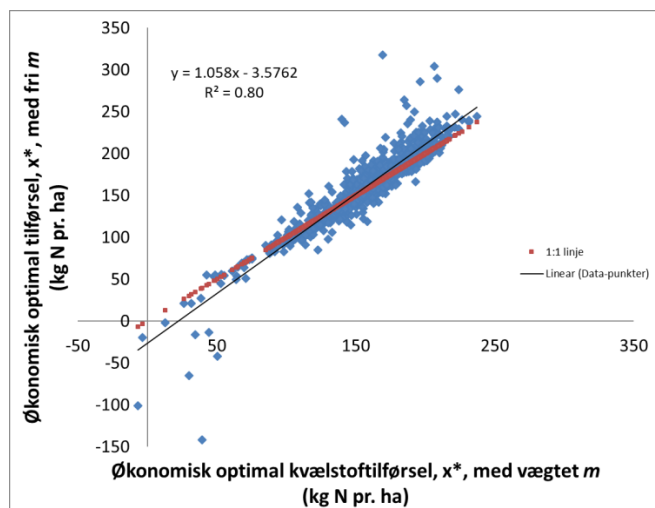
3.1.1 Valg af generelle responsparametre og supplerende observationer

Det viser sig, som forventet, at det på trods af meget høje forklaringsgrader i de enkelte forsøg er vanskeligt og ofte nærmest umuligt at estimere signifikante q (crs), k (plateau), x_0 og m -parametre. På grundlag af mange eksperimenter er det fundet relevant at benytte fælles q og k -parametre samt fælles supplerende m værdi (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Valgte q og k -parametre samt m -parameter for henholdsvis kerneudbytte (Y) og kvælstofoptag i kerne (N) for vinterhvede.

	Y	N
q (crs)	0,5	0,8
k (plat)	0,7	1,0
m	310	490

Defaultværdierne benyttes som supplerende observationer ved estimering af de i alt to gange tre variable responsparametre for henholdsvis udbytte og kvælstofoptagelse. De supplerende observationer vægtes som 1/20 udbytteobservation (observeret, forventet m er vægtet med 0,05). Med denne vægtning opnås mere stabile estimater for de resterende parametre, og måske vigtigst giver det minimale tab af forklaringsgrad, samtidigt med at vilde, ikke realistiske estimater undgås (se fx meget høje og lave optimal N i Figur 3.1). For at kunne vurdere, om vægtningen af de supplerende observationer (vægtet, forventet m parameter) er forsvarlig, er resultater med begge metoder løbende blevet sammenlignet. Resultater uden supplerende observationer omtales som frie (Figur 3.1).



Figur 3.1 Optimal tildeling beregnet med og uden vægtet m (vægt 0,05) for 1.051 vinterhvedeforsøg.

Ved hjælp af de estimerede responsparametre er der for hvert enkelt forsøg beregnet en optimal kvælstoftildeling uden og med proteinværdi indregnet, der benævnes henholdsvis x^* og x^{**} , samt proteinprocent ved tildeling af x^{**} . I den videre proces med at udvikle en forklaringsmodel (NREMO) for de estimerede og beregnede parametre regnes disse tre værdier rent teknisk som observationer på lige fod

med de estimerede, egentlige parametre. Egentlig burde det være overflødigt, at modellen skal forklare de tre parametre x^* , x^{**} og protein pct., da disse parametre også kan beregnes med de modelforklarede responsparametre. Det er imidlertid et væsentligt kontrolpunkt for anvendelse af NREMO, at de med modellen forklarede optimale tildelinger svarer til den optimale tildeling, der kan beregnes med de med modellen forklarede responsparametre (se Tabel 3.7 og 3.8).

3.1.2 Forsøgsleddenes fordeling på produktionsøkonomiske faser

Forsøgernes fordeling på produktionsøkonomiske faser beregnet med IQP2-tilgangen for 1.051 forsøg inkl. 2017 og 2018 fremgår af Tabel 3.2. I 80 pct. af forsøgene ligger *mindste tildeling* (0 kg N pr. ha) i produktionsøkonomisk fase I og i 91 pct. af forsøgene ligger *største tildeling*, ofte 250 kg N pr. ha, i fase III. Det fremgår også, at 71 pct. af forsøgene starter i fase I og slutter i fase III. Mindre end 1 pct. af forsøgene starter og slutter i fase II, hvor hele responsforløbet kan beskrives med et andengradspolynomium. I 10 pct. af forsøgene når den højeste tildeling ikke fase III, dvs. at den højeste tildeling ikke er tilstrækkelig til at bestemme, hvor meget kvælstof der kræves for at opnå det maksimale udbytte. Det er netop her, de supplerende observationer med forventet m -værdi har deres væsentligste funktion.

Tabel 3.2 Forsøgsleddenes fordeling på produktionsøkonomisk fase I, II og III (antal forsøg og pct.)

Mindste tildeling		Største tildeling			i alt
		< q	$q-m$	> m	
	I	I	II	III	
< q	I	0	92	745	837
$q-M$	II		4	210	214
> M	III			0	0
i alt		0	96	955	1.051

Største tildeling		Største tildeling			i alt
		< q	$q-m$	> m	
	I	I	II	III	
0 %	9 %	71 %	80 %		
	0 %	20 %	20 %		
		0 %	0 %		
0 %	9 %	91 %	100 %		

At 80 pct. af forsøgene har en eller flere observationer i Fase I, hvor der ikke er aftagende, men stigende marginal respons, og mere end 90 pct. af forsøgene har observationer i Fase III, hvor der er negativ marginal respons, rækker ved den klassiske opfattelse baseret på Liebig lov af, at udbytterne ved øget tildeling af kvælstof er lineært stigende indtil et punkt, hvor andre essentielle næringsstoffer er begrænsende for udbyttet og udbyttet har nået et såkaldt Liebig plateau. Jf. Paris (1992) kan Liebig imidlertid ikke tages til indtægt for at udbytterespons, indtil plateauet er nået, altid er lineær³. En Fase I med stigende marginal respons er dermed ikke i konflikt med Liebig. At udbytterne i de benyttede forsøg ikke topper ved et Liebig plateau før/på grænsen til Fase III kan forklares med, at udbytterne i Landsforsøgene netop ikke er begrænset af andre næringsstoffer, men at tildeling af for meget kvælstof, i Fase III, har en negativ effekt på afgrødens vækst og udbytte.

3.2 NREMO for vinterhvede

NREMO er anvendt for vinterhvede med henblik på at kunne forklare de fra enkeltforsøgene udledte responsparametre, udbyttepotentialer og kvælstofbehov med videre som en funktion af tekstur, klima, forfrugt og eftervirkning fra husdyrgødning. Hvis modellen med rimelig sikkerhed kan forklare variationen i disse parametre, vil den også kunne anvendes til beregning af økonomisk optimale kvælstofnormer og prognoser for samme. Ved valg af modelparametre er der ikke mindst skelet til NLES-modellen (Kristensen et al., 2008) samt drejebog for kvælstofprognosen (SEGES, 2018).

³ Paris (1992): The prevalent viewpoint is that the von Liebig hypothesis implies a "linear response and plateau" model, although nowhere does it appear that von Liebig formulated his "law" in those terms.

I Tabel 3.3 vises, hvilke forklarende modelparametre der er benyttet i nærværende analyse herunder forklaring og enhed samt antal forsøg (Obs). Modellens parametre er estimeret med lineær regression og mindste kvadrats metode.

Tabel 3.3 Modelparametre for vinterhvede. Farvemarkerede parametre er nødvendige ved fastsættelse af årets kvælstoftildeling. De grønne parametre er de prognoseparametre, der kan anvendes til beregning af årets forventede udbyttepotentiale og kvælstofbehov med videre. Data for de grønne parametre ændres fra år til år, men er til rådighed tidligt på vækstsæsonen. Data for de røde parametre ændres også fra år til år, men er ikke til rådighed, når der skal træffes beslutning om kvælstoftildeling. De blå parametre er stabile tekstur- eller trendbestemte parametre.

Parametre	Forklaring	Enhed	Obs.
Jord			
INTCP	Modellens skæring, defineret ved forfrugt korn	1	718
Humus	Organiske jorde (>10 % humus)	0/1	5
Ler 0-25	Lerindhold i 0-25 cm dybde (10 %=0)	Pct.	-
Ler 25-60	Lerindhold i 25-60 cm dybde (10 %=0)	Pct.	-
Humus 0-25 (ej humusjord)	Humusindhold i 0-25 cm dybde (2 %=0)	Pct.	-
Humus 25-60 (ej humusjord)	Humusindhold i 25-60 cm dybde (2 %=0)	Pct.	-
Udvaskning 0-25	Estimeret udvaskning i 0-25 cm dybde (50 kg N=0)	kg N/ha	-
Udvaskning 25-60	Estimeret udvaskning i 25-60 cm dybde (50 kg N=0)	kg N/ha	-
Forfrugt			
1. Vårsæd	Vårsæd (hovedsagligt vårbyg)	0/1	124
2. Raps	Vinterraps	0/1	127
3. Bælgsæd	Bælgsæd (hovedsagligt markært)	0/1	81
4. Græs ssk.	Sædsifte græs m. og u. kløver	0/1	11
5. Frøgræs	Frøgræs	0/1	26
6. Kartoffler	Kartofler	0/1	29
7. Majs	Majs	0/1	11
8. Roer	Sukkerroer	0/1	4
9. Brak	Brak med græs eller sort jord	0/1	5
Forforfrugt			
2. FFF GF	God forforfrugt (anden afgrøde end korn 2-5 år før forsøget)	0/1	243
3. FFF KGL	Græs som forforfrugt (græs i sædsiftet 2-5 år før forsøget)	0/1	47
Øvrige			
Vandet	Vanding	0/1	36
kgNorgeftv.	Eftervirkning af husdyrgødning	kg N/ha	-
Halm 1	Halm nedmuldet året før forsøget	0/1	-
Halm 25	Halm nedmuldet 2-5 år før forsøget	0-4	-
Merudb. fungicider	Merudbytte ved fungicidbehandling (8 hkg=0)	hkg/ha	-
Klima			
tMinOktMar	Laveste månedstemperatur fra oktober til marts (0 °C=0)	°C	-
tAvg_JanMar	Gennemsnitstemperatur fra januar til marts (2 °C=0)	°C	-
tAvgAprMaj	Gennemsnitstemperatur fra april til maj (9 °C=0)	°C	-
tAvgJunJul	Gennemsnitstemperatur fra juni til juli (15 °C=0)	°C	-
RainApr	Nedbør i april (50 mm=0)	mm	-
RainMaj	Nedbør i maj (50 mm=0)	mm	-
RainJuni	Nedbør i juni (50 mm=0)	mm	-
Trend			
Sådag FØR 263	Antal dage før dag 263, som er d. 20. september	dage	-
Sådag EFTER 263	Antal dage efter dag 263	dage	-
FHT (100)	Forholdstal (FHT) jf. sortsafprøvning (100=0)	FHT-100	-
Nord/100	Nord/syd (6200 km nord for ækvator=0)	km/100	-
10 År (før 2015)	Trendparameter (2015=0)	år/10	-
10 År (før 2009)	Trendparameter (2009=0)	år/10	-
10 år (før 2001)	Trendparameter (2001=0)	år/10	-
Trend sand	Supplerende trend for sand	år/10	-
Trend organ	Supplerende trend for organisk N	år/10	-

I analysen er der benyttet ler- og kulstofindhold i 0-25 og 25-60 cm's dybde, som kaldes "Ler 0-25", "Ler 25-60", "Humus 0-25" og "Humus 25-60". For langt de fleste forsøg er der udført en teksturanalyse for pløjelaget (0-25 cm), og data fra disse analyser er benyttet, hvis de foreligger. Hvis teksten ikke er angivet i pløjelaget, udtrækkes teksturdata fra jordbundskort (Adhikari et al., 2013) ud fra forsøgets koordinater. Tilsvarende er teksturdata i 25-60 cm's dybde baseret på jordbundskort.

Udvaskningen, som benævnes "Udvaskning 0-25" og "Udvaskning 25-60", er estimeret på basis af N-LES₄ modellen (Kristensen et al., 2008). Afstrømningen to år forud for forsøget er udregnet på basis af månedsværdier for nedbør og fordampning og ler- og humusindhold samt parameterestimater fra Tabel 3 i Kristensen et al. (2008). Afstrømning for følgende perioder benyttes: april-december og januar-marts i udvaskningsåret samt april-august og september-marts i året før udvaskningsåret. Herefter er kvælstofudvaskningen beregnet ved at benytte trendparametre, parametre for direkte og indirekte kvælstofbidrag (Kristensen et al., 2008, Tabel 1), sædskifteparametre (Kristensen et al., 2008, Tabel 2) samt korrektionsfaktor fra Tabel 3 i Kristensen et al. (2008):

$$\text{Udvaskning}_{0-25} = (\text{trend} + (31 + 20 \cdot -19 + 0,2 \cdot 200)^{1,5}) \cdot f(\text{afstrømning}) \cdot g(\text{tekstur}) \cdot 1,256$$

hvor trend = $175 + 2878 / (\text{årstal for forsøg} - 1968)$, hvor årstal maksimalt kan være 2004, 1,256 er en korrektionsfaktor, 1,5 er et parameterestimat, 31 er modellens skæring, 20 er puljebidrag (baseret på C/N forhold og kulstofindhold), -19 er korrektion til kontinuert vinterhvedesædskifte, 0,2 er summen af β_1 og β_2 fra Tabel 1 i Kristensen et al. (2008), og 200 er den gennemsnitlige kvælstoftilførsel. På tilsvarende måde udregnes "Udvaskning₂₅₋₆₀". Forskel i udvaskning mellem de to lag skyldes således udelukkende forskelle i ler- og humusindhold i lagene.

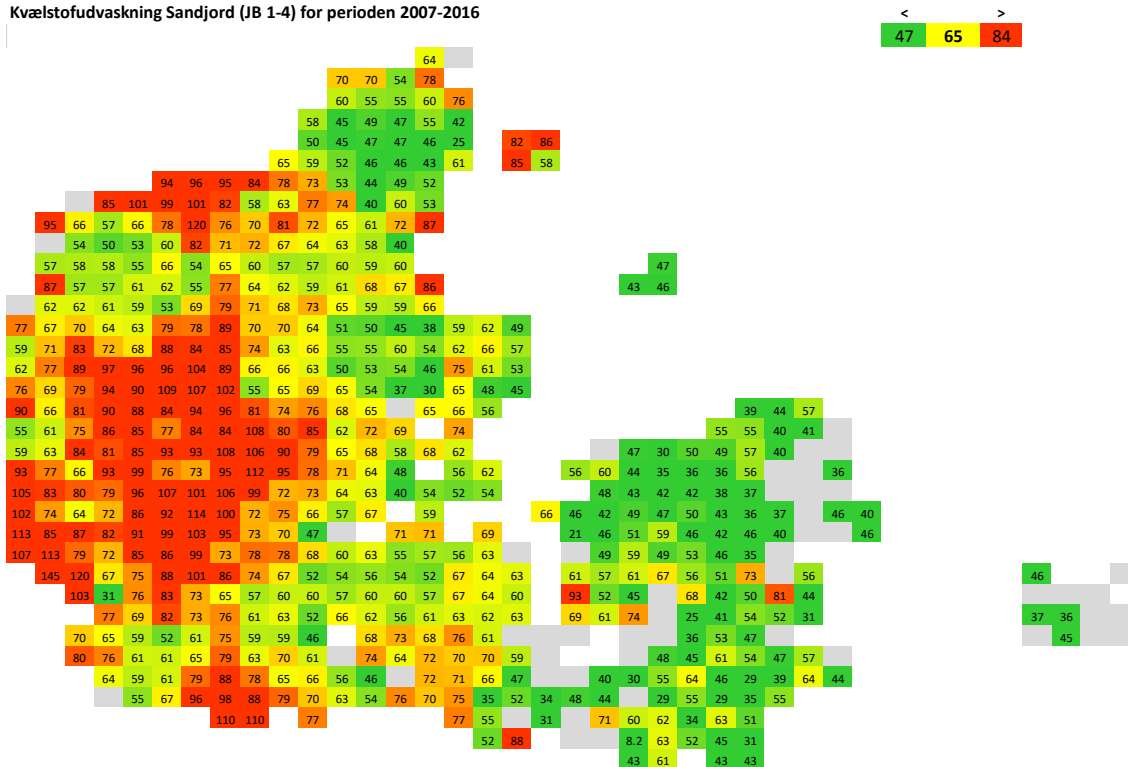
Der er store regionale forskelle i udvaskningen. Udvaskningen er størst i Vestjylland og mindst i Storebæltsregionen, og større på sandjord (Figur 3.2) end på lerjord (Figur 3.3).

Eftervirkningen af husdyrgødning (kgNorgeftv. i Tabel 3.3) er udregnet ved at antage, at eftervirkningen af totalkvælstof er 8,4 pct., som er fordelt med henholdsvis 3,7, 1,9, 1,2, 0,9 og 0,7 pct. for de første 1-5 år efter tildelingen. Eftervirkninger er beregnet som 3,7 pct. / antal år efter tildelingen. Petersen og Sørensen (2008) foreslog tilsvarende model. Hvis tilførslen af husdyrgødning fem år forud for forsøget ikke er oplyst, men det er angivet, at der er tilført husdyrgødning, benyttes en tilførsel på 70 kg total-N pr. ha. Hvis feltet er blankt, antages det, at der ikke er tilført husdyrgødning.

Klimadata for perioden 1992 til 2016 for i alt 609 10x10 km klimagrid dækkende hele landet er etableret på grundlag af data fra DMI. Disse data stammer dels fra DMI (Scharling, 2013), dels fra et udtræk leveret fra SEGES til brug for analyser i kvadratnettet (1992-2008). Data fra SEGES dækker ikke hele Danmark (ca. 100 klimagrid er ikke dækket), men størstedelen af det dyrkede areal er dækket. Fra 2009-2016 benyttes data for alle 609 klimagrid. Nedbøren er opgjort som ikke-korrigeret nedbør. I analysen er der benyttet månedsværdier for nedbør, temperatur, indstråling og fordampning. Se hvilke specifikke variable der er benyttet i Tabel 3.3 under "Klima".

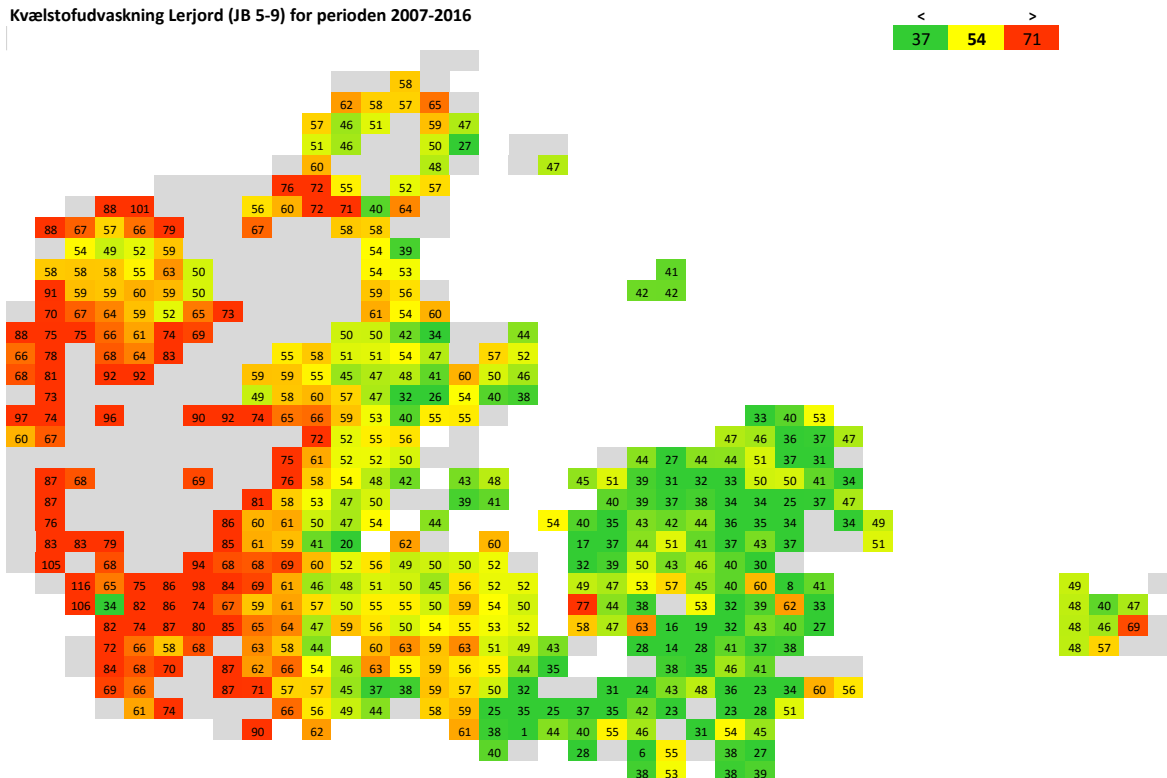
Forholdstal for kerneudbytte (FHT(100)) for alle sorter, der er benyttet i vinterhvedeforsøgene, er vist i Bilag 2. Af bilaget fremgår, at der er stor variation i forholdstal mellem de anvendte sorter i forsøgene. Fx blev der i 1999 benyttet sorter med så forskellige forholdstal som 89 og 113. Afvigelsen i forholdstal fra 100 (målesorten) benyttes som forklarende variabel.

Kvælstofudvaskning Sandjord (JB 1-4) for perioden 2007-2016



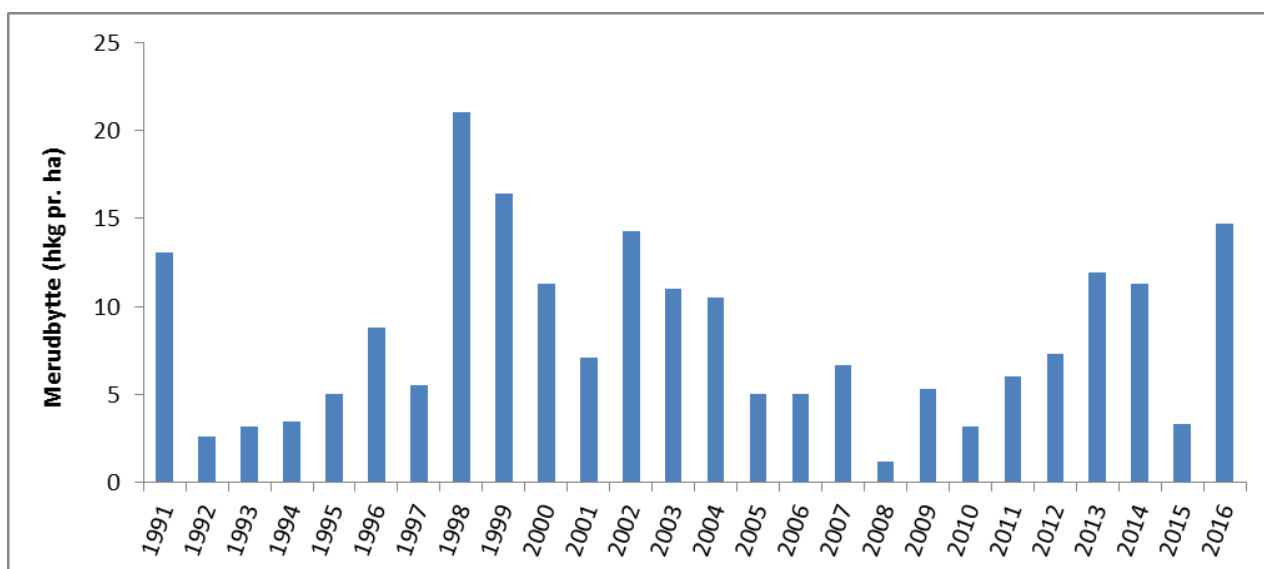
Figur 3.2 Simpelt beregnet kvælstofudvaskning fra vinterhvede (kg N pr. ha) fra 0-25 cm på sandjord (JB1-4) for perioden 2007-2016. Kun 10x10 km grid dyrket med mindst 50 hektar vinterhvede på JB 1-4 er vist.

Kvælstofudvaskning Lerjord (JB 5-9) for perioden 2007-2016



Figur 3.3 Simpelt beregnet kvælstofudvaskning fra vinterhvede (kg N pr. ha) fra 0-25 cm på lerjord (JB 5-9) for perioden 2007-2016. Kun 10x10 km grid dyrket med mindst 50 hektar vinterhvede på JB 5-9 er vist.

Merudbytte ved fungicidanvendelse i vinterhvede 1991-2016 er vist i Figur 3.4. Det fremgår, at der på trods af en stor variation i merudbytterne ved svampebekæmpelse også har været længere perioder med merudbytter over gennemsnittet (1998-2004 og 2012-2016) og perioder med merudbytter under gennemsnittet (1992-1997 og 2005-2011). De systematiske udsving kan blandt andet forklares med introduktion af nye, effektive fungicider (henholdsvis strobiluriner og triazoler) og en tidsforskuet, senere resistensudvikling. Men også tørre år som fx 1992 og 2008 skiller sig ud med merudbytter under gennemsnittet.



Figur 3.4 Merudbytte ved svampebekæmpelse i vinterhvede (Tabelbilag til Landsforsøgene, Vinterhvedesorter med og uden svampebekæmpelse, flere årgange).

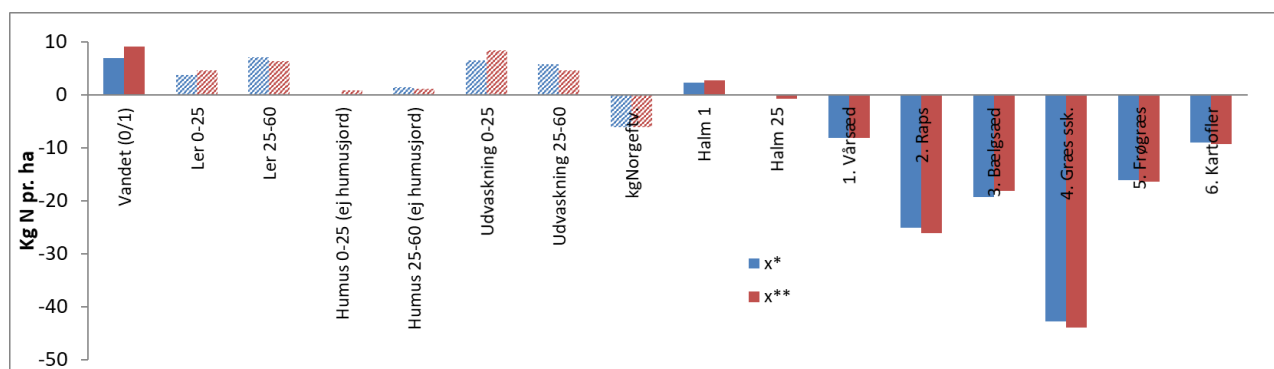
De faktiske merudbytter ved svampebekæmpelse og udbyttetab ved nedsat effektivitet ved svampebekæmpelse er ikke bestemt for de enkelte kvælstofforsøg, men det er tydeligt, at merudbytter ved svampebekæmpelse er en parameter, der nødvendigvis må inddrages ved en forklaring af udviklingen i vinterhvedens udbyttepotentiale og fremskrivning af kvælstofbehov med videre.

Der er mange andre faktorer, der lige som svampebekæmpelse kan påvirke afgrødernes kvælstofbehov og udbyttepotentiale, som fx atmosfærisk kvælstofdeposition og komprimeret jord, strukturskade eller pløjesål, der har ændret sig over tid og kan variere fra landsdel til landsdel. Af disse faktorer er det kun landsgennemsnit for merudbytter ved svampebekæmpelse, der er medtaget som en eksplicit, men ikke regional, forklarende variabel i modellen. For øvrige ikke specificerede effekter vil systematiske ændringer over tid være indregnet i de generelle trends for udviklingen i udbyttepotentiale og kvælstofbehov for lerjord og sandjord med videre.

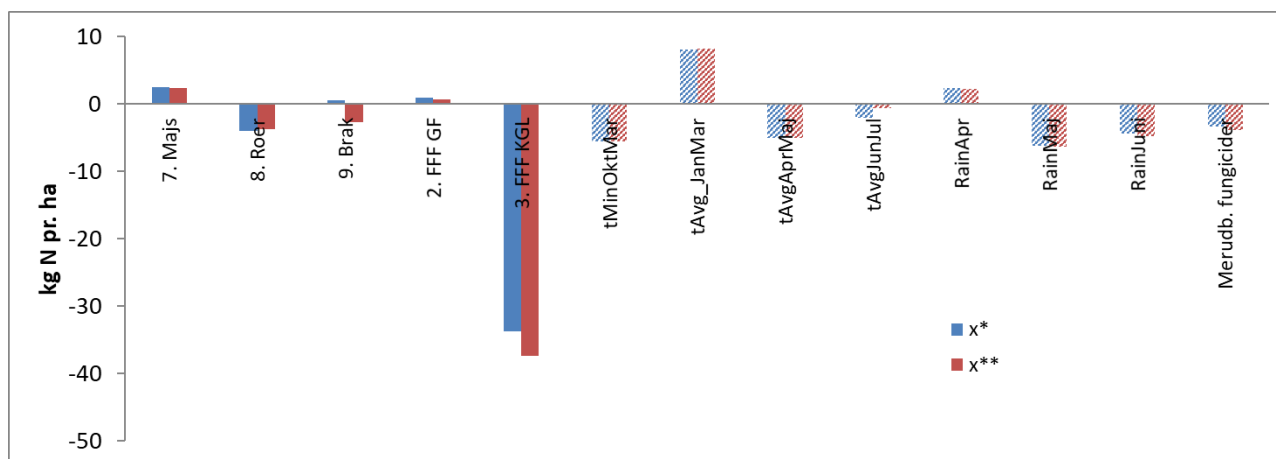
I Tabel 3.4 ses de estimerede responsparametre for de 718 stigende N-forsøg i vinterhvede. Herefter følger Figur 3.5 og 3.6, som viser effekten af responsparametrene på den økonomisk optimale kvælstoftildeling (x^* eller x^{**}) med undtagelse af "Humus", idet effekten af denne parameter er så markant sammenlignet med de øvrige parametre.

Tabel 3.4 NREMO parameterestimer for kerneudbytte (Y), mineraliseret puljekvælstof (x_0 og x_{00}), optimal kvælstoftildeling uden og med indregning af protein (x^* og x^{**}) samt kvælstofoptag i kerne (N). For forklaring af responsparametre se Tabel 3.3

Responsparameter	Uden protein						Med 75 pct. proteinindregning					
	Y	P -værdi	x_0	P -værdi	x^*	P -værdi	N	P -værdi	x_{00}	P -værdi	x^{**}	P -værdi
INTCP	92.1	<0.0001	93.2	<0.0001	193.7	<0.0001	161.7	<0.0001	183.3	<0.0001	211.1	<0.0001
Humus	-16.6	<0.01	68.6	<0.0001	-62.0	<0.0001	-14.1	0.11	95.9	<0.0001	-66.1	<0.0001
Vandet	-2.5	0.16	-13.4	<0.01	6.3	0.13	-1.4	0.38	-20.8	<0.01	7.7	0.10
LER 0-25	-0.1	0.19	-0.6	0.05	0.8	<0.05	0.0	0.49	-0.9	<0.05	1.0	<0.01
LER 25-60	0.3	<0.05	-0.7	<0.01	1.0	<0.01	0.5	<0.05	-0.8	0.05	0.9	<0.01
HUM 0-25 (ej humusjord)	-1.3	<0.05	-1.0	0.24	0.5	0.37	-0.5	0.34	-1.7	0.24	1.0	0.27
HUM 25-60 (ej humusjord)	-0.2	<0.05	-0.1	0.29	0.2	0.26	-0.4	<0.05	0.0	0.48	0.2	0.30
Udvaskning 0-25	-0.2	<0.01	-0.5	<0.0001	0.3	<0.01	-0.1	0.23	-0.7	<0.0001	0.4	<0.01
Udvaskning 25-60	0.0	0.23	-0.2	<0.05	0.2	<0.05	-0.1	0.10	-0.1	0.14	0.1	0.07
kgNorgeftv.	-0.3	<0.05	0.9	<0.01	-1.0	<0.01	-0.4	<0.05	1.1	<0.01	-1.0	<0.01
Halm 1	1.4	0.18	-0.6	0.43	1.8	0.30	2.7	0.17	-4.8	0.17	1.9	0.30
Halm 25	-0.5	0.17	0.0	0.49	0.3	0.40	-1.7	<0.05	1.7	0.15	-0.1	0.47
1. Vårsæd	2.6	<0.05	6.3	<0.05	-7.5	<0.05	3.9	0.08	0.6	0.45	-7.3	<0.05
2. Raps	4.7	<0.01	25.4	<0.0001	-24.9	<0.0001	5.5	<0.05	33.4	<0.0001	-25.6	<0.0001
3. Bælgsæd	5.2	<0.01	20.0	<0.0001	-19.0	<0.0001	9.7	<0.01	21.3	<0.01	-18.0	<0.0001
4. Græs ssk.	8.0	<0.05	47.9	<0.0001	-43.2	<0.0001	17.3	<0.05	74.4	<0.0001	-44.5	<0.0001
5. Frøgræs	2.8	0.15	15.6	<0.01	-16.9	<0.01	4.8	0.17	22.6	<0.01	-17.1	<0.01
6. Kartofler	7.2	<0.01	7.2	0.10	-8.5	0.08	12.3	<0.01	11.9	0.09	-8.5	0.09
7. Majs	2.3	0.30	-1.7	0.43	1.3	0.45	4.0	0.32	-6.6	0.34	2.0	0.43
8. Roer	-0.8	0.45	2.8	0.42	-5.0	0.37	-6.4	0.31	-5.3	0.41	-4.8	0.38
9. Brak	-0.7	0.45	-2.0	0.44	1.3	0.46	-0.7	0.47	-0.5	0.49	-1.6	0.45
2. FFF GF	0.1	0.45	-0.4	0.44	0.8	0.39	-1.6	0.24	-1.4	0.36	0.5	0.42
3. FFF KGL	-1.0	0.33	32.4	<0.0001	-33.6	<0.0001	-6.7	0.06	51.0	<0.0001	-36.8	<0.0001
tMinOktMar	1.7	<0.01	3.4	<0.01	-3.4	<0.01	2.1	<0.05	2.0	0.17	-3.5	<0.05
tAvg_JanMar	2.2	<0.01	-2.4	0.06	5.0	<0.01	3.0	<0.05	-3.1	0.11	5.2	<0.01
tAvgAprMaj	-1.3	0.05	3.0	<0.05	-5.1	<0.01	-0.9	0.27	4.4	0.06	-5.2	<0.01
tAvgJunJul	-1.1	<0.05	1.5	0.09	-1.7	0.08	2.0	<0.05	-1.4	0.22	-0.6	0.33
RainApr	0.0	0.15	-0.1	<0.05	0.1	<0.05	0.0	0.34	-0.1	0.18	0.1	<0.05
RainMaj	-0.1	<0.01	0.1	<0.05	-0.3	<0.0001	-0.2	<0.01	0.1	0.22	-0.3	<0.0001
RainJuni	0.0	0.29	0.1	<0.01	-0.2	<0.01	0.0	0.34	0.2	<0.01	-0.2	<0.01
Merudb. fungicider	-0.5	<0.01	0.2	0.24	-0.5	<0.05	-1.3	<0.0001	0.5	0.17	-0.6	<0.05
sådag FØR 263	0.1	0.15	0.2	0.23	0.0	0.50	0.3	<0.05	0.6	<0.05	0.0	0.46
sådag EFTER 263	-0.2	0.06	-0.1	0.30	-0.1	0.31	-0.4	<0.05	0.1	0.42	-0.2	0.27
FHT (100)	0.3	<0.05	-0.1	0.33	0.4	0.13	0.4	0.06	-0.1	0.45	0.4	0.11
Nord/100	-1.4	<0.05	1.3	0.23	-4.4	<0.01	-0.4	0.38	3.2	0.11	-4.4	<0.01
10 År (før 2015)	3.4	0.20	-12.3	0.08	14.1	0.06	3.6	0.32	-24.2	<0.05	13.1	0.09
10 År (før 2009)	3.0	0.33	18.3	0.11	-17.6	0.13	-3.8	0.39	31.9	0.09	-17.3	0.15
10 År (før 2001)	1.6	0.39	-36.7	<0.01	45.0	<0.01	26.2	<0.01	-34.5	<0.05	46.6	<0.01
Trend sand	7.2	<0.0001	3.2	0.18	-3.5	0.17	11.6	<0.0001	6.0	0.14	-4.2	0.14
Trend organ	-2.5	<0.05	-8.3	<0.01	6.8	<0.05	-3.4	0.12	-10.9	<0.05	7.7	<0.05



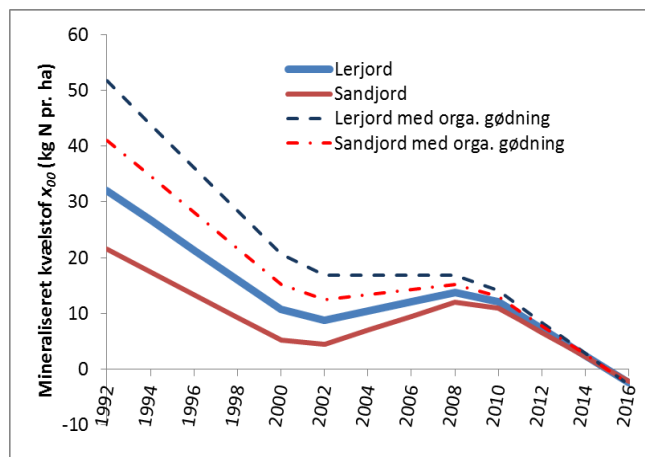
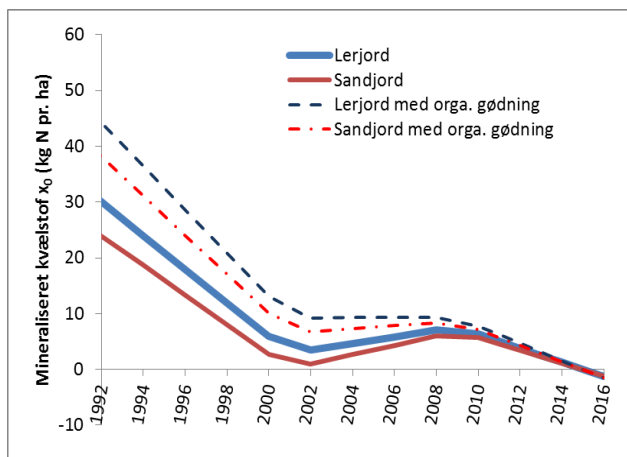
Figur 3.5 Effekt af responsparametrene på økonomisk optimal kvælstoftildeling for vinterhvede med (x^{**} , rød) og uden proteinindregning (x^* , blå). For forklaring af responsparametre se Tabel 3.3. Estimerne for de kontinuerte variable (markeret med skrå streger) er vægtet med standardafvigelsen beregnet for enkeltforsøgene.



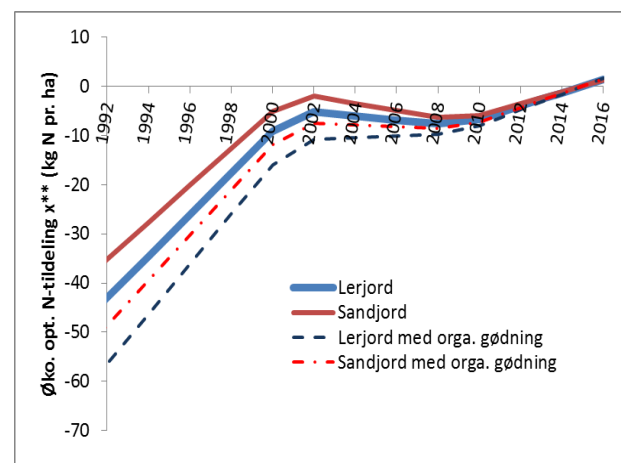
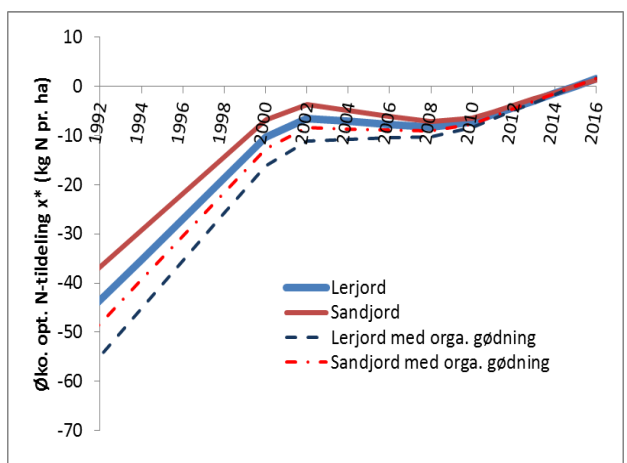
Figur 3.6 Effekt af responsparametrene på økonomisk optimal kvælstoftildeling for vinterhvede med (x^{**} , rød) og uden proteinindregning (x^* , blå). For forklaring af responsparametre se Tabel 3.3. Estimerne for de kontinuerte variable (markeret med skrå streger) er vægtet med standardafvigelsen beregnet for enkeltforsøgene.

Af Tabel 3.4 og Figur 3.5 kan det udledes, at lerindhold og udvaskning i 0-25 cm samt 25-60 cm påvirker x^* og x^{**} positivt. Dvs. jo højere lerindhold og udvaskning, jo mere kvælstof skal der tilføres. Fx vil 1 kg N pr. ha højere udvaskning i forhold til referencen medføre en stigning i x^{**} på ca. 0,5 kg N pr. ha. Derudover er forfrugten af stor betydning for den økonomisk optimale kvælstoftildeling (x^* og x^{**}). De to bedste forfrugter, sædskiftegræs (4. Græs Ssk) og vinterraps (2. Raps), reducerer således den økonomisk optimale tildeling med henholdsvis 44 og 25 kg N pr. ha (Tabel 3.4). Sædskiftegræs som forforfrugt 2-5 år forud for forsøget (3. FFF KGL) har også en markant effekt på den økonomisk optimale tildeling. Her reduceres x^* og x^{**} med 34 og 37 kg N pr. ha. Herudover ses, at høje vintertemperaturer (tMinOktMar) og høje gennemsnitstemperaturer i foråret (tAvg_JanMar) henholdsvis mindsker og øger vinterhvedens kvælstofbehov.

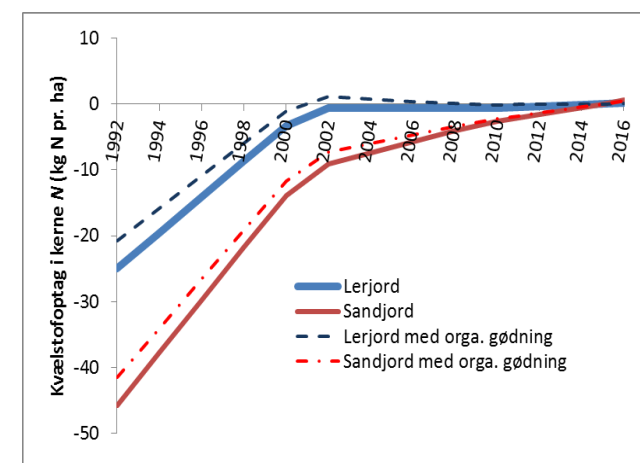
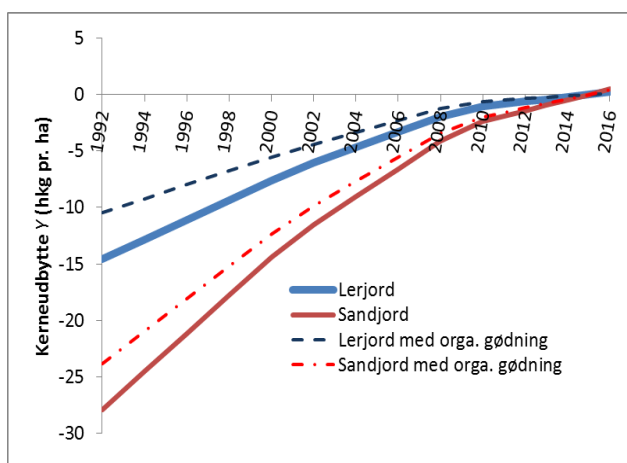
I Figur 3.7-3.10 er vist, hvordan udviklingen i parameterestimerne har været i perioden 1992-2016. Udviklingen er vist for lerjord ($JB > 4$) og sandjord ($JB \leq 4$) uden og med (stiplet linje) tilførsel af organisk gødning. Udviklingen samt opdelingen er udregnet ud fra trendparametrene "10 År (før 2001)", "10 År (før 2009)", "10 År (før 2015)", "Trend sand" og "Trend organ" (Tabel 3.4).



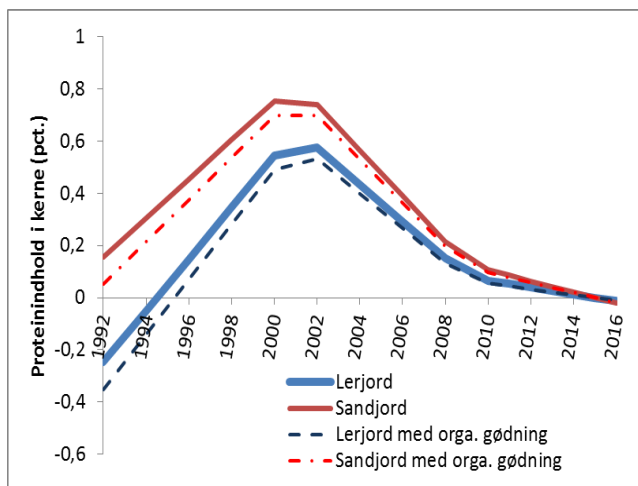
Figur 3.7 Estimeret udvikling i mineraliseret puljekvælstof for kerneudbytte (x_0) og kvælstofoptag (x_{00}) for lerjord ($JB>4$) og sandjord ($JB\leq 4$) uden og med tilført organisk gødning (2015=0).



Figur 3.8 Estimeret udvikling i økonomisk optimal kvælstoftilførsel uden proteinindregning (x^*) og med proteinindregning (x^{**}) for lerjord ($JB>4$) og sandjord ($JB\leq 4$) uden og med tilført organisk gødning (2015=0).



Figur 3.9 Estimeret udvikling i kerneudbytte (Y) og kvælstofoptag i kerne (N) for lerjord ($JB>4$) og sandjord ($JB\leq 4$) uden og med tilført organisk gødning (2015=0).



Figur 3.10 Estimeret udvikling i proteinprocent i kerne for lerjord ($JB > 4$) og sandjord ($JB \leq 4$) uden og med tilført organisk gødning (2015=0).

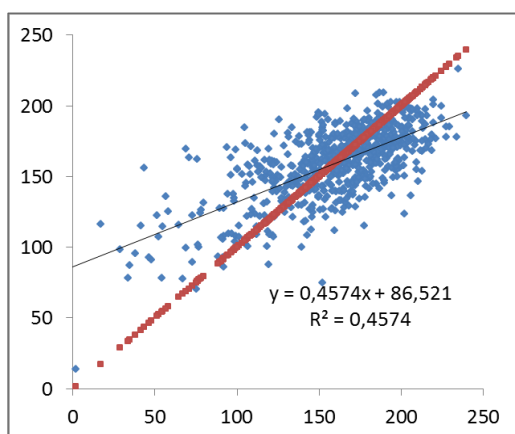
Af Figur 3.7 fremgår, at udnyttelsen af husdyrgødning i jordbruget er steget, idet forskellen med og uden organisk gødning bliver mindre og mindre med årene, samt at effekten er størst fra 1992 til 2002. Dette er i overensstemmelse med en markant reduktion i kvælstofoverskuddet og tilsvarende øget kvælstofudnyttelse i samme periode (Figur 8 og 9 i Vinther og Olsen, 2018). Mængden af mineraliseret puljekvælstof er faldet i perioden og igen mest markant fra 1992 til 2002 (Figur 3.7), mens den økonomisk optimale kvælstoftilførsel er steget i samme periode (Figur 3.8). Kerneudbyttet er steget i hele perioden, dog mest markant fra 1992 til 2009, og mest på sandjord (Figur 3.9), mens kvælstofoptaget i kerne har været stort set uændret siden 2002 (Figur 3.9), hvilket har medført et fald i proteinprocenten i perioden 2002 til 2016 (Figur 3.10). Dette kan skyldes, at nyere sorter i højere grad er forædlet til at producere mere tørstof ved lavt kvælstofniveau (Styczen og Abrahamsen, 2017).

3.2.1 Modellens forklaringsgrad

Der indgår 40 parametre i den fulde forklaringsmodel og 32 parametre i den reducerede model. Med 718 vinterhvedeforsøg er der 678 og 686 frihedsgrader svarende til 17 og 21 observationer pr. parameter. Det er med Tabel 3.5 valgt at benytte én fælles grundmodel til forklaring af de forskellige responsparametre. Det fremgår, at det er begrænset, hvor meget grundmodellen kan reduceres, idet de fleste parametre i en eller flere sammenhænge er signifikante. Modellens korigerede forklaringsgrad er 43,3 pct. for x^* og 42,2 pct. for x^{**} . På trods af de mange meget signifikante parametre i forklaringsmodellen er det vanskeligt at forklare fx udbyttepotentiale (Y), N-mineralisering (x_{00}) og optimal tildeling (x^{**}) med stor nøjagtighed. Der er fx beregnet en standardafvigelse på 28,1 kg N pr. ha mellem optimal kvælstoftildeling (x^*) beregnet pr. forsøg og med NREMO for vinterhvede. Figur 3.11 viser optimal kvælstoftildeling bestemt med IQP2 for de enkelte forsøg plottet imod den med NREMO-beregne optimale tildeling. En sammenligning af modelfejl for optimal tildeling og kerneudbytte har i øvrigt vist, at fejlene kun er svagt korrelerede ($r=0,37$).

Tabel 3.5 NREMO-estimer for udbyttepotentiale (Y (hkg pr. ha) og N (kg N pr. ha)), handelsgødning-ækvivalent puljekvælstof (x_0 og x_{00} (kg N pr. ha)), mængde kvælstof, der kræves for opnåelse af udbyttepotentialet (m og M (kg N pr. ha)), samt optimal kvælstoftildeling uden og med proteinværdi indregnet (x^* og x^{**} (kg N pr. ha)). For hver parameter er angivet estimat, standardafvigelse på estimatet (sigma) samt halesandsynlighed (pct.) for, at estimatet er forskelligt fra nul (konfidens).

	INTCP	Humus > 9 (0/1)	Vandet (0/1)	LER 0-25	LER 25-60	NLES 0-25 (kg udv.)	NLES 25-60 (kg udv.)	kgNorgeftv.	1. Vårsæd	2. Raps	3. Bælgsæd	4. Græs ssk.	5. Frøgræs	6. Kartofler	3. FFF KGL	tMinOktMar	tAvg_JanMar	tAvgAprMaj	tAvgJunJul	RainApr	RainMaj	RainJuni	Merudb. fungicider	Sigma og R ² (pct.)
Obs.	0	5	36						124	127	81	11	26	29	47									
Kerne Y																								
Estimat	90,5	-15	-3,2	-0,2	0,43	-0,2	-0	-0,3	2,86	5,28	5,65	8,59	2,87	7,75	-1,3	1,68	1,97	-1,4	-1	-0	-0,1	-0	-0,4	
Sigma	1,98	5,94	2,46	0,15	0,12	0,04	0,03	0,1	1,4	1,34	1,67	4,29	2,61	2,56	2,19	0,62	0,72	0,8	0,51	0,03	0,02	0,02	0,14	12,4
Konfidens	100	99,3	90,5	89,4	100	100	56,5	99,4	98	100	100	97,7	86,4	99,9	72,9	99,7	99,7	96,4	98	89,7	99,7	92,1	99,9	42
Kerne N																								
Estimat	157	-13	-1,6	-0,1	0,71	-0,1	-0	-0,3	4,17	7,44	11,5	17,9	6,07	14,1	-5,4	1,95	2,92	-1,1	1,78	-0	-0,1	-0	-1,2	
Sigma	3,75	11,3	4,66	0,29	0,24	0,08	0,05	0,2	2,65	2,55	3,17	8,12	4,94	4,86	4,15	1,18	1,36	1,52	0,97	0,05	0,05	0,04	0,27	23,5
Konfidens	100	88,2	63,4	68,3	99,9	91,6	67,9	91,8	94,2	99,8	100	98,6	89	99,8	90,2	95,1	98,4	76,2	96,7	66,4	99,9	51,6	100	32,7
x0																								
Estimat	93	70,6	-14	-0,6	-0,7	-0,5	-0,1	0,83	6,49	25,6	20	48,6	15,9	7,4	32,1	3,48	-2,6	2,93	1,59	-0,1	0,09	0,11	0,26	
Sigma	4,28	12,9	5,31	0,33	0,27	0,09	0,06	0,23	3,03	2,91	3,62	9,27	5,64	5,54	4,73	1,34	1,55	1,74	1,11	0,06	0,05	0,05	0,31	26,8
Konfidens	100	100	99,7	96,2	99,4	100	99,3	100	98,4	100	100	100	99,8	90,9	100	99,5	95,4	95,4	92,4	98,6	96	99,4	80,2	41,5
x00																								
Estimat	184	100	-23	-0,8	-0,8	-0,7	-0,2	0,98	0,84	32,4	20,1	76,3	22,8	11,5	49,3	2,04	-3,2	4,23	-1,1	-0,1	0,06	0,2	0,52	
Sigma	6,74	20,3	8,37	0,52	0,42	0,14	0,09	0,36	4,77	4,58	5,71	14,6	8,89	8,74	7,46	2,12	2,45	2,74	1,75	0,09	0,08	0,07	0,48	42,3
Konfidens	100	100	99,7	94,6	96,3	100	95,8	99,7	57	100	100	100	99,5	90,6	100	83,3	90,1	93,9	73,5	85,5	74,9	99,8	85,8	35,9
m																								
Estimat	314	17,7	-7,8	0,49	0,09	-0,1	-0	-0	-2,8	-2,1	-0,9	1,36	-4,2	-5,6	-1,5	-0,4	2,01	-2	0,33	-0	-0,2	-0	-0,2	
Sigma	2,61	7,86	3,25	0,2	0,16	0,05	0,04	0,14	1,85	1,78	2,21	5,67	3,45	3,39	2,89	0,82	0,95	1,06	0,68	0,04	0,03	0,03	0,19	16,4
Konfidens	100	98,8	99,2	99,2	70,1	96,3	60,3	55,1	93,4	88,1	65,4	59,5	88,8	95,1	70	67,9	98,3	96,8	68,8	64,2	100	88,1	84,9	17,1
M																								
Estimat	486	26,9	-14	0,24	-0,7	-0,2	-0,1	0,01	-5,8	9,7	8,34	24,5	6,5	2,42	11,3	-1,8	2,6	-1,8	-0,1	0,01	-0,2	0,01	0,17	
Sigma	6,08	18,3	7,55	0,47	0,38	0,12	0,08	0,32	4,3	4,13	5,15	13,2	8,01	7,88	6,72	1,91	2,21	2,47	1,58	0,08	0,08	0,06	0,43	38,1
Konfidens	100	93	97,1	69,4	97	97,7	78,2	51,7	91,2	99,1	94,8	96,8	79,1	62,1	95,3	82,7	88	77,3	52	52,6	98,7	56,8	65,2	7,51
x*																								
Estimat	196	-63	7,12	0,88	0,89	0,35	0,13	-1	-7,8	-25	-19	-44	-18	-8,8	-34	-3,4	5,15	-5	-1,6	0,12	-0,3	-0,1	-0,6	
Sigma	4,48	13,5	5,56	0,35	0,28	0,09	0,06	0,24	3,16	3,04	3,79	9,7	5,9	5,8	4,95	1,41	1,63	1,82	1,16	0,06	0,06	0,05	0,32	28,1
Konfidens	100	100	90	99,5	99,9	100	98,4	100	99,3	100	100	100	99,9	93,5	100	99,3	99,9	99,7	92,2	97,2	100	99,9	96,1	43,3
x**																								
Estimat	212	-68	8,93	1	0,79	0,39	0,12	-1	-7,4	-25	-17	-45	-18	-8,5	-37	-3,5	5,42	-5,2	-0,6	0,12	-0,3	-0,2	-0,6	
Sigma	4,75	14,3	5,89	0,37	0,3	0,1	0,06	0,25	3,35	3,22	4,02	10,3	6,25	6,15	5,25	1,49	1,72	1,93	1,23	0,07	0,06	0,05	0,34	29,8
Konfidens	100	100	93,5	99,7	99,6	100	96,6	100	98,7	100	100	100	99,7	91,5	100	99,1	99,9	99,6	68,7	96,4	100	99,9	97,2	42,2



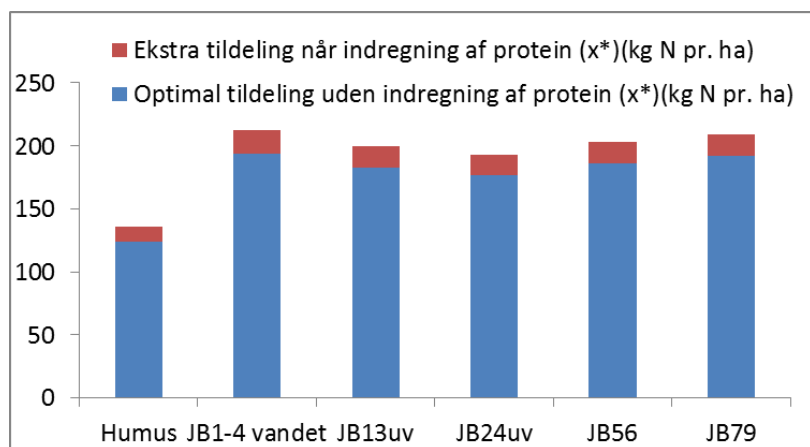
Figur 3.11 Optimal kvælstoftildeling uden proteinindregning (x^*)(kg N pr. ha) estimeret med IQP2 i enkelt forsøg (x-akse) sammenlignet med NREMO-beregning (y-akse) for de samme forsøg. Rød linje indikerer IQP2.

3.3 NREMO responsparametre for jordtyper og regioner

Med henblik på at kunne beregne responsparametre pr. jordtype er der beregnet gennemsnitlige tekstur-, vej- og udvaskningsdata 2005-2015 for samtlige vinterhvedearealer (arealer dyrket med hvede i perioden 2013-2017) fordelt på seks jordtyper. På dette grundlag er der med NREMO for hver af de seks jordtyper beregnet ni responsparametre (Tabel 3.6): potentielt kerneudbytte (Y og N), puljekvælstof (x_0 og x_{00}), nødvendig tildeling (m og M) for maks. udbytte samt optimal kvælstoftildeling (x^* og x^{**}) uden og med indregning af proteinværdi (Figur 3.12). Bemærk, at N, M og x_{00} gælder for kvælstofoptagelsen, men i øvrigt svarer til Y, m og x_0 for kerneudbyttet.

Tabel 3.6 NREMO-beregnete responsparametre for vinterhvede 2005-2015.

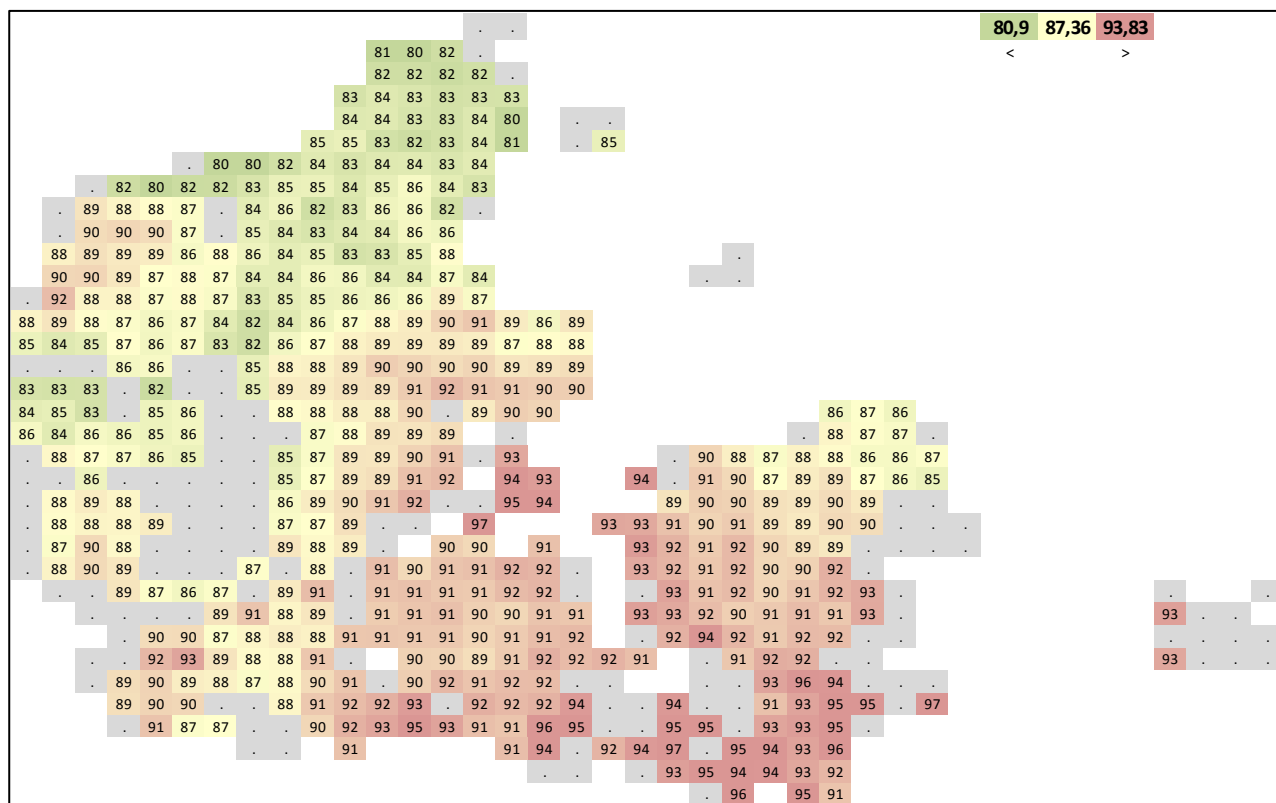
	Vægt	Kerne Y	x_0	m	x^*	Kerne N	x_{00}	M	x^{**}
Humus	2%	70,5	164,6	324,8	123,9	140,5	283,7	504,2	135,7
JB1-4 vandet	12%	80,5	80,4	300,7	193,5	149,1	162,6	468,3	212,2
JB13uv	10%	85,2	100,0	309,9	183,0	152,5	191,6	484,9	199,8
JB24uv	30%	87,0	108,2	311,1	176,7	155,4	202,8	487,6	193,2
JB56	35%	92,1	104,0	315,4	186,2	163,5	191,8	483,5	203,4
JB79	11%	96,2	104,1	321,0	192,1	169,0	191,3	485,0	209,0
Gns.	100%	88,5	103,3	312,6	183,2	158,3	193,5	483,7	200,2
q (crs)		0,5				0,8			
k (plat)		0,7				1,0			



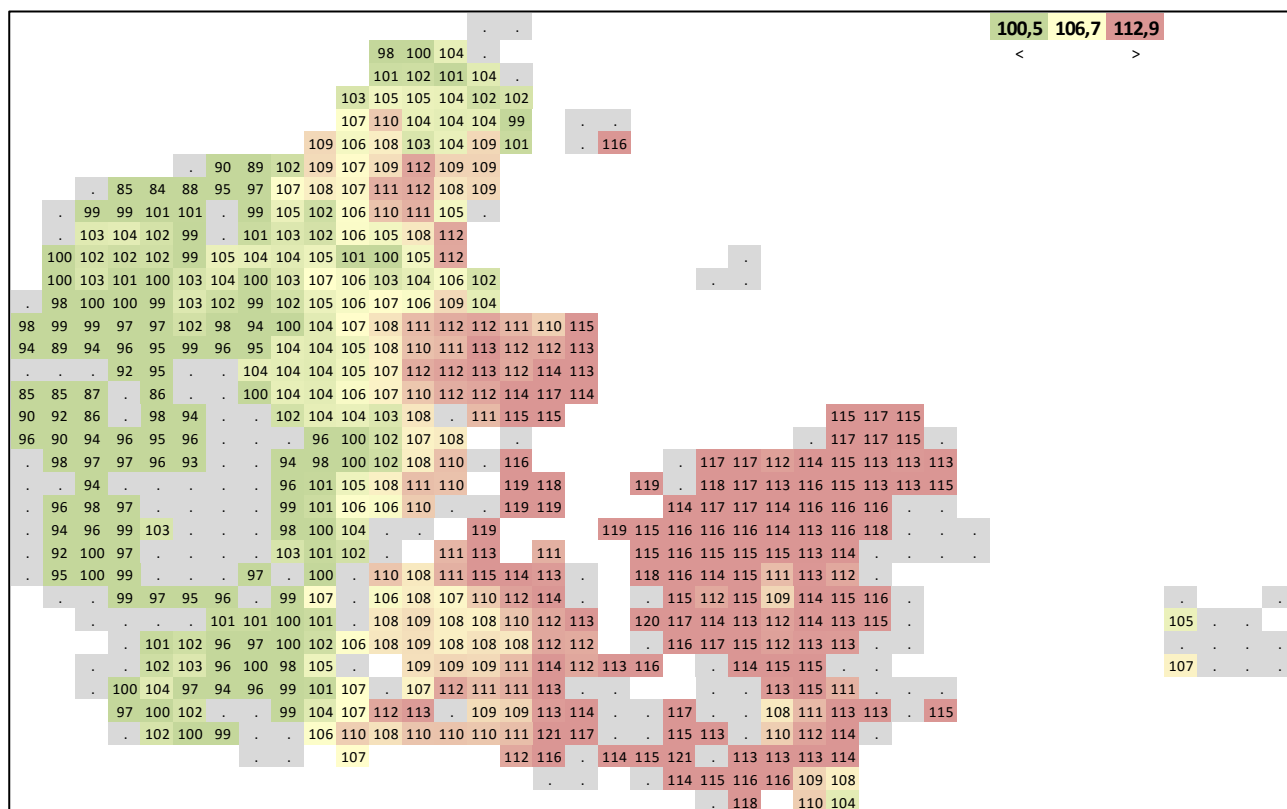
Figur 3.12 Arealvægtet optimal kvælstoftildeling til vinterhvede 2005-2015.

Med henblik på at kunne belyse den geografiske spredning i vækstbetingelserne for vinterhvede er der med NREMO blandt andet beregnet udbyttepotentiale (Y og N), kvælstofbehov (m) for maksimalt udbytte samt puljekvælstof (x_0) for seks jordtyper i samtlige 609 10x10 km klimagridceller.

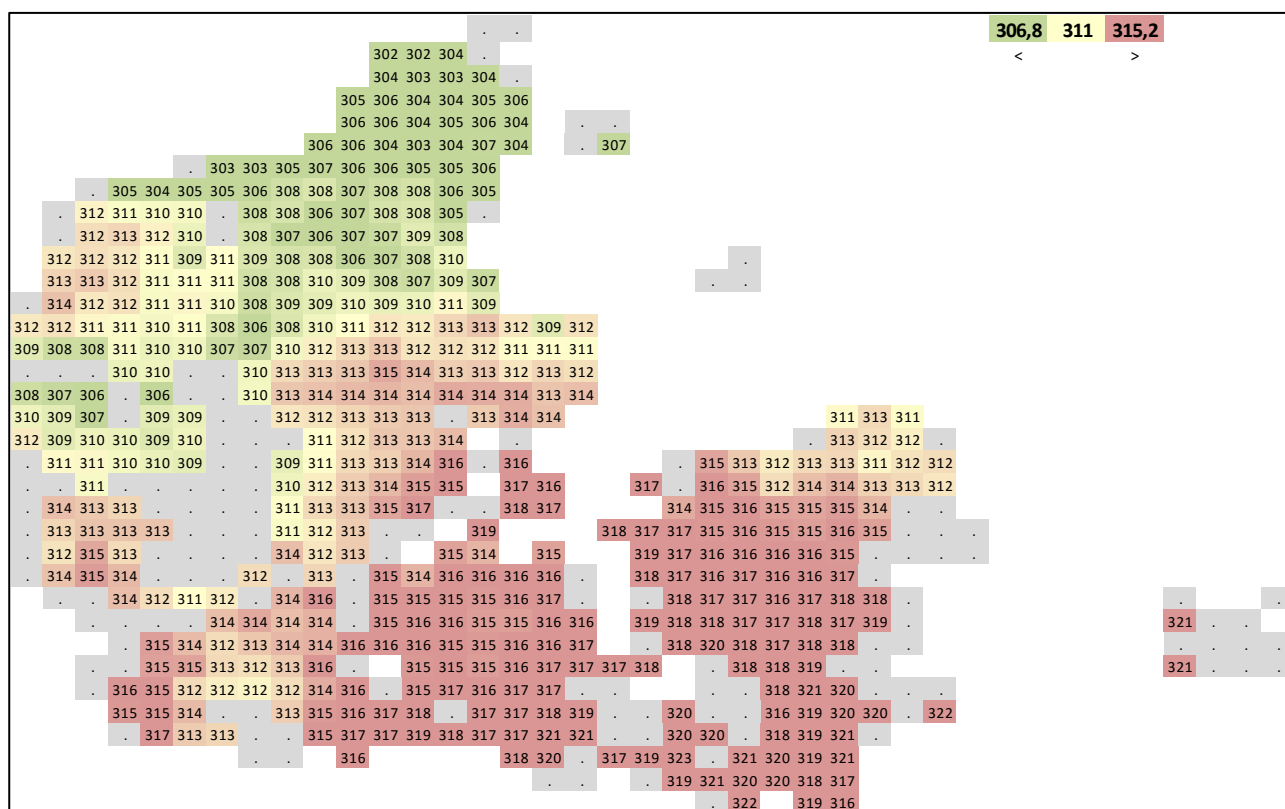
Figur 3.13-3.18 viser den rumlige variation i fordeling i udbyttepotentiale (Y), kvælstofbehov for maksimalt udbytte (m) samt puljekvælstof (x_0) som gennemsnit for 2005-2015 for JB24 og JB56. Der er kun vist værdier for gridceller med mere end 50 ha vinterhvede.



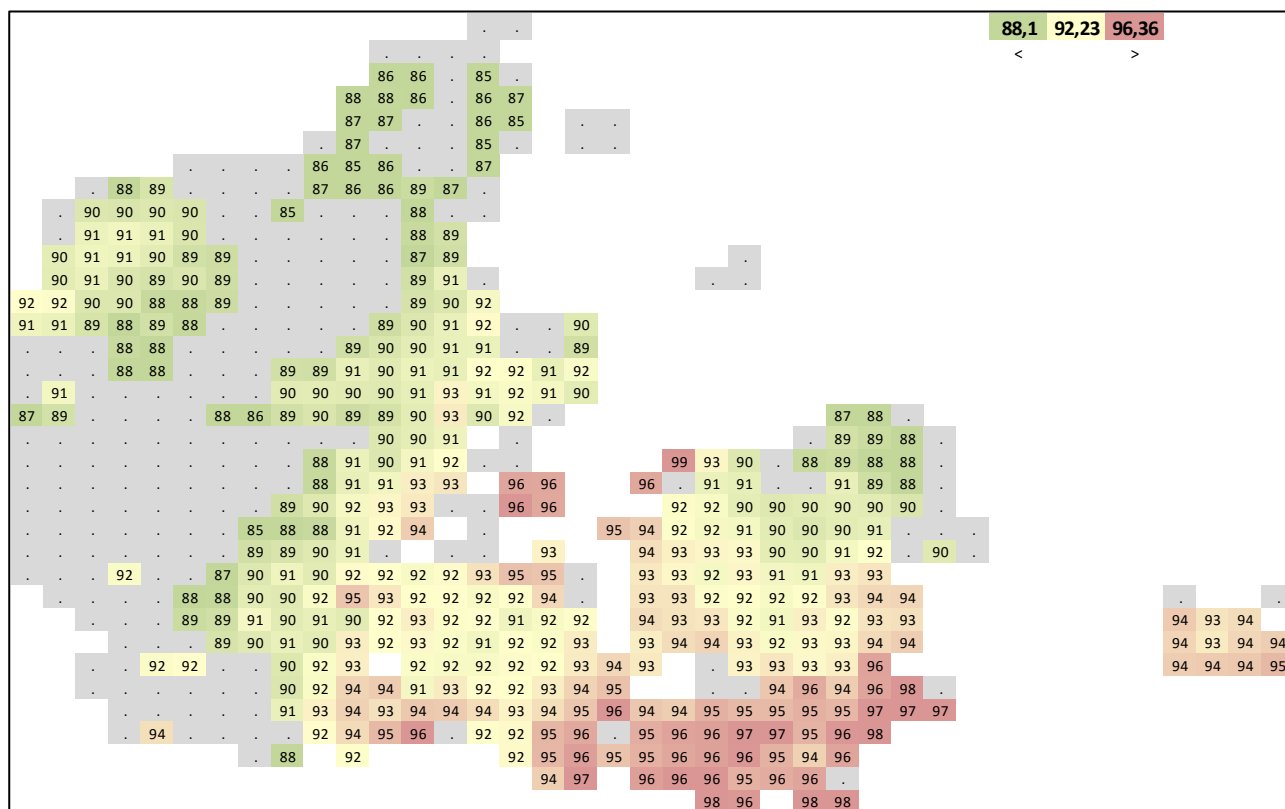
Figur 3.13 Udbyttepotentiale (Y)(hkg pr. ha) for vinterhvede JB24 uden eftervirkning af organisk gødning 2005-2015.



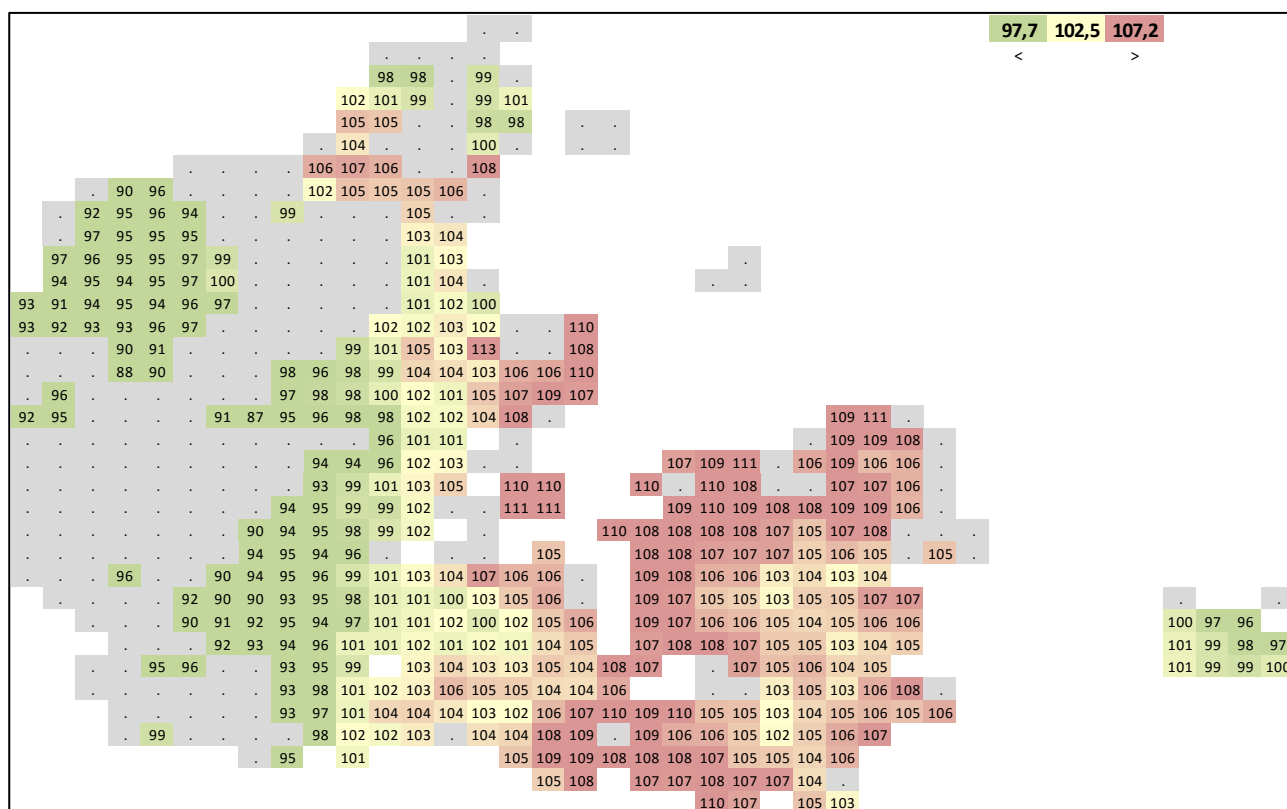
Figur 3.14 Puljekvælstof (x_0)(kg N pr. ha) for vinterhvede JB24 uden eftervirkning af organisk gødning 2005-2015.



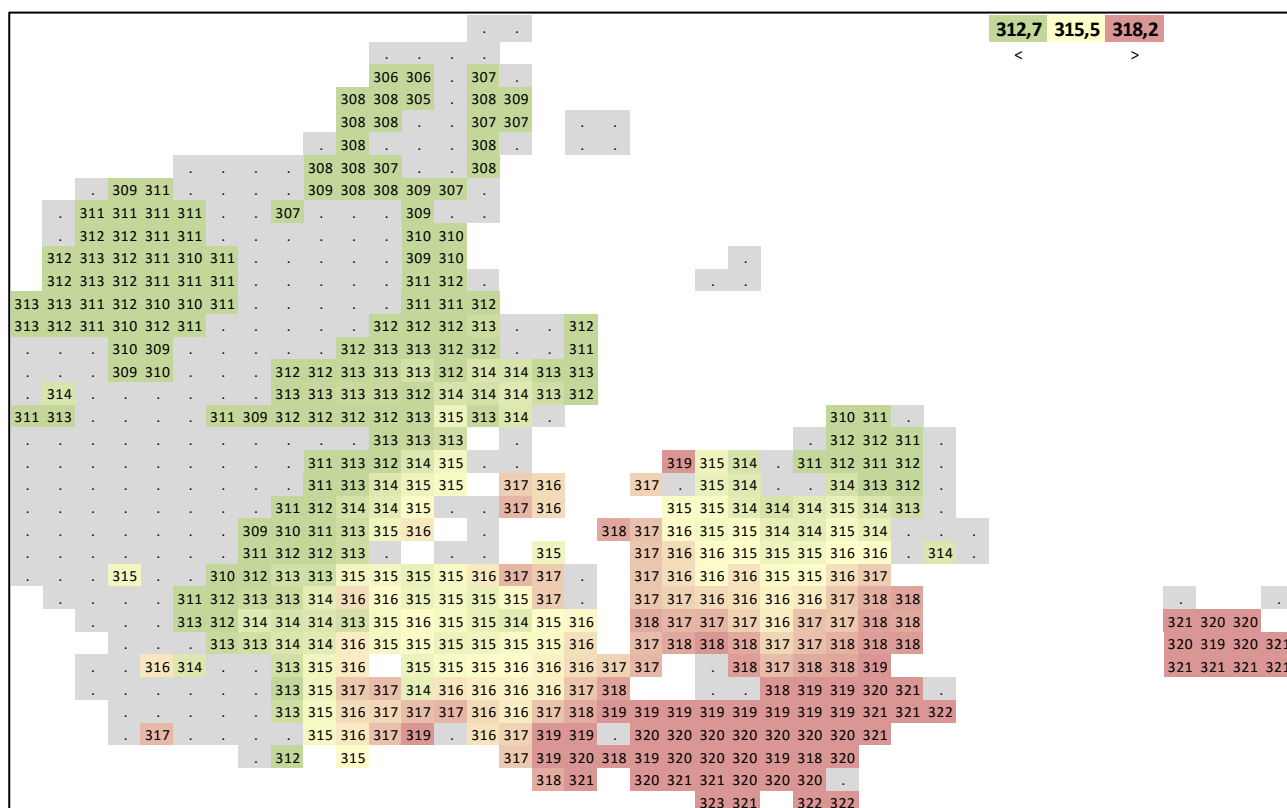
Figur 3.15 Nødvendigt kvælstof (m)(kg N pr. ha) for opnåelse af maksimalt udbytte i vinterhvede på JB24 uden eftervirkning af organisk gødning 2005-2015.



Figur 3.16 Udbyttepotential (Y)(hkg pr. ha) for vinterhvede JB56 uden eftervirkning af organisk gødning.



Figur 3.17 Puljekvælstof (x_0)(kg N pr. ha) for vinterhvede JB56 uden eftervirkning af organisk gødning 2005-2015.



Figur 3.18 Nødvendigt kvælstof (m)(kg N pr. ha) for opnåelse af maksimalt udbytte i vinterhvede på JB56 uden eftervirkning af organisk gødning 2005-2015.

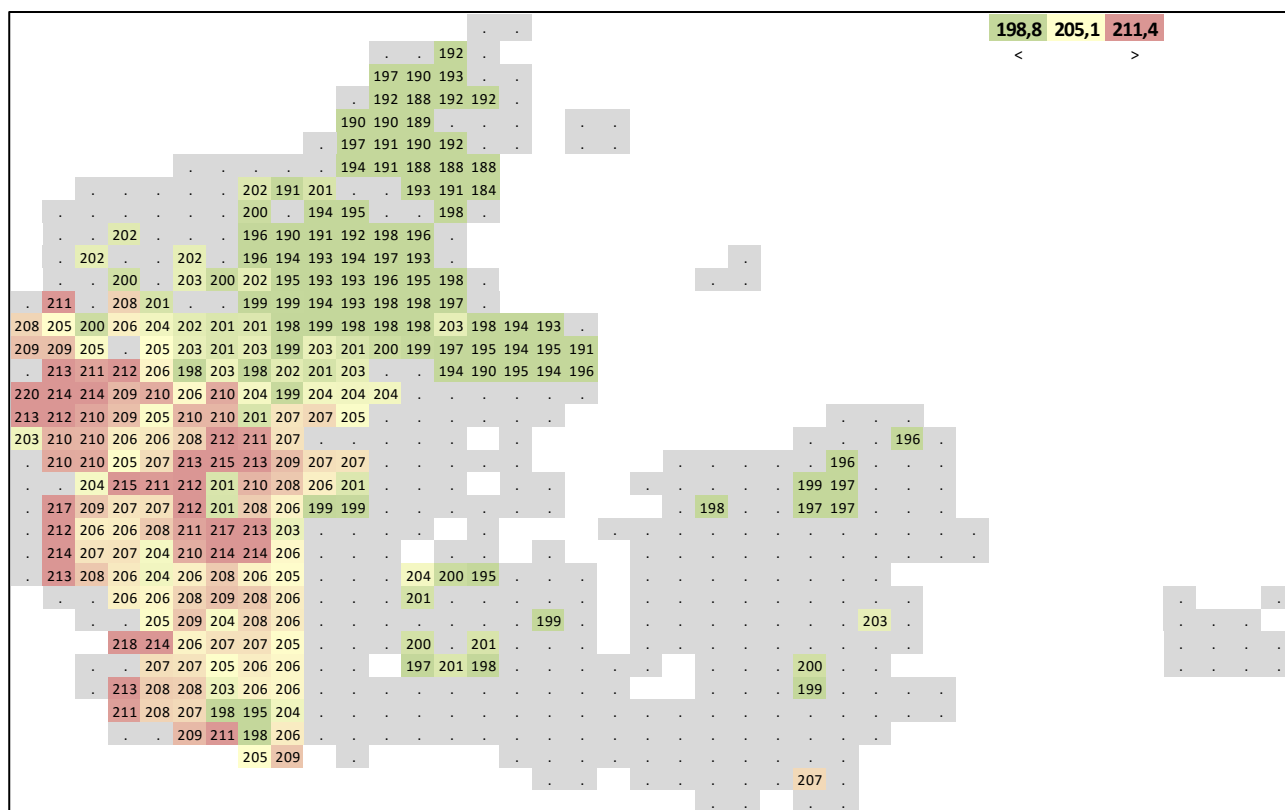
3.4 Regional fordeling af optimal kvælstoftildeling

Med NREMO for vinterhvede er der for hver enkelt 10 x 10 km DMI gridcelle med mere end 50 ha vinterhvede beregnet gennemsnitlig optimal kvælstoftildeling (x^* og x^{**}) for fem jordtyper. Der er benyttet 2016-priser og -trends.

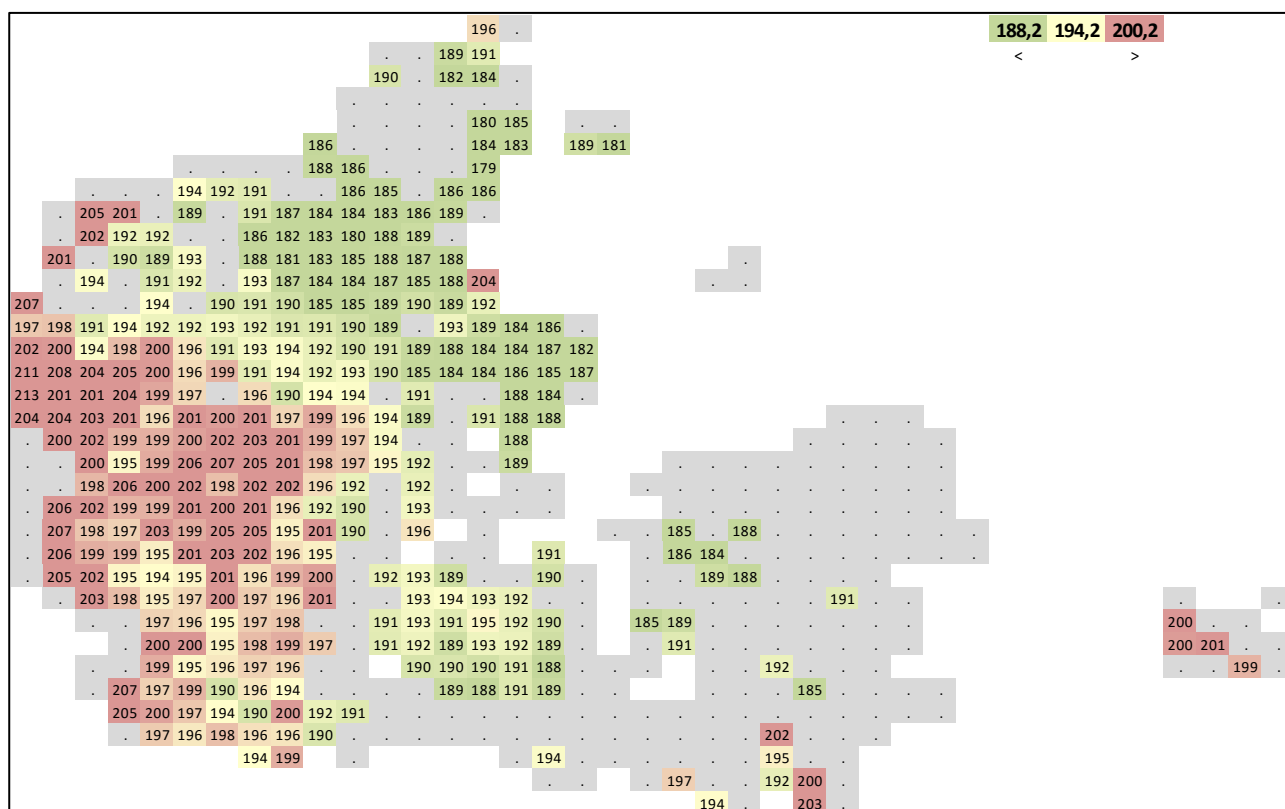
Figur 3.19-3.25 viser gennemsnitlig NREMO-beregnet optimal kvælstoftildeling 2006-2015 til JB13, JB24, JB56 og JB79. For Figur 3.19-3.22 og Figur 3.24 er der indregnet eftervirkning fra husdyrgødning i de enkelte gridceller samt indregnet værdi af protein (75 pct.), svarende til forholdene for bedrifter med husdyrhold. For Figur 3.23 og Figur 3.25 er der tilføjet kort med optimal tildeling til JB56 og JB79 uden indregning af proteinværdi og uden eftervirkning af husdyrgødning, svarende til forholdene på planteavlsbrug.

Flere steder i landet er der store lokale forskelle i optimal tildeling. Disse forskelle skyldes dels, at der selv inden for de enkelte jordtyper forekommer store variationer i vejrforhold, ler- og husmusindhold, dels at anvendelsen af husdyrgødning kan variere meget selv på korte afstande. Disse forskelle forsvinder naturligvis ikke, men udviskes i høj grad, hvis resultaterne opgøres i en større skala.

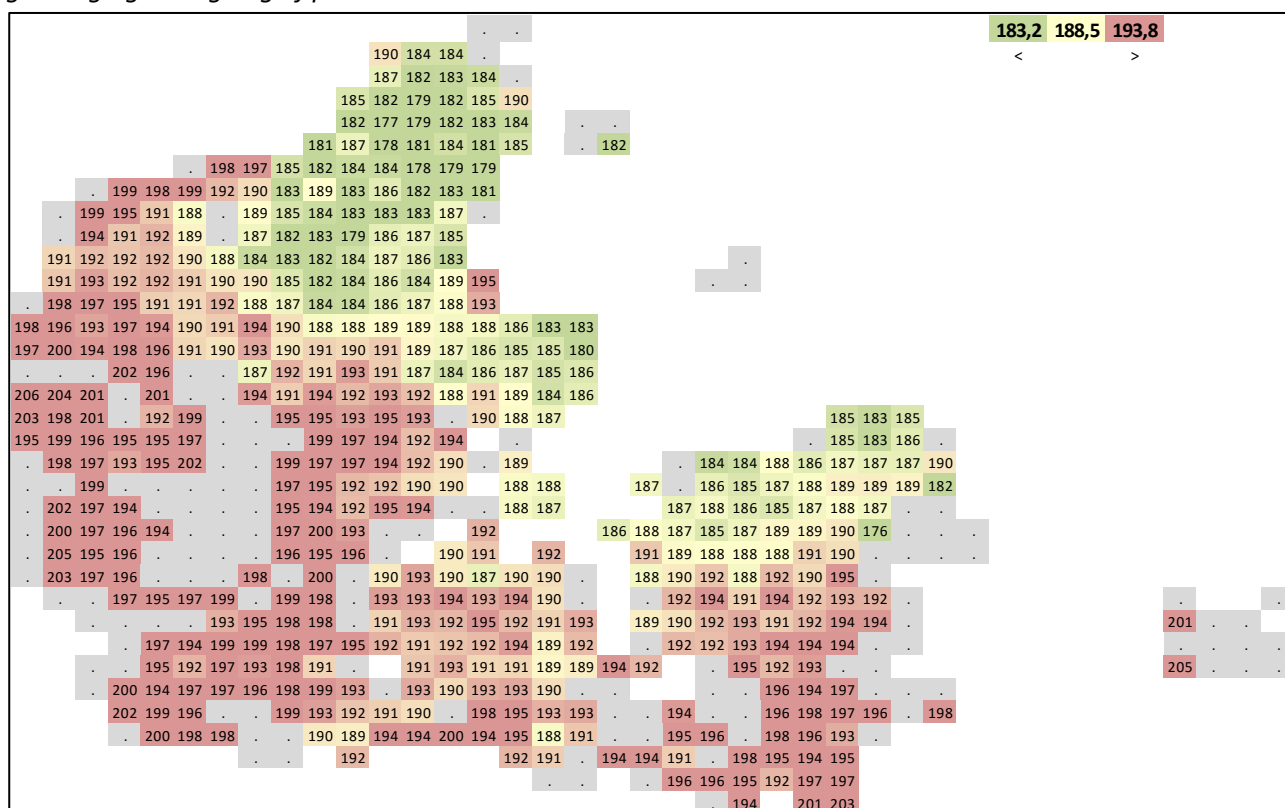
Figur 3.26 og Figur 3.27 viser NREMO-forslag til korrektion af kvælstoftildelingen i 2016 beregnet henholdsvis den 1. april 2016 samt efter høst 2016, dvs. med fuld viden (ex ante) om temperatur og nedbør med videre for hele vækståret.



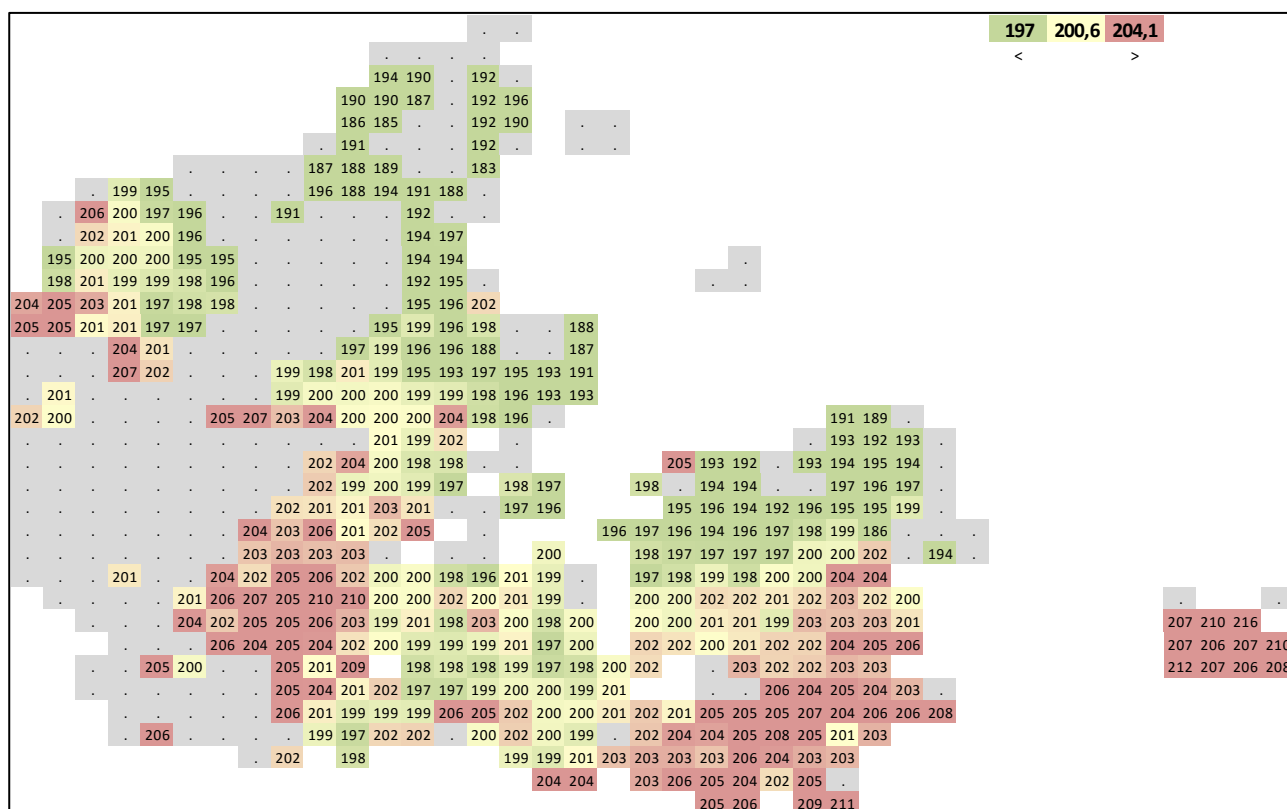
Figur 3.19 Optimal kvælstoftildeling (x^{**})(kg N pr. ha) til vinterhvede JB1-4 vandet med eftervirkning af organisk gødning og indregning af protein.



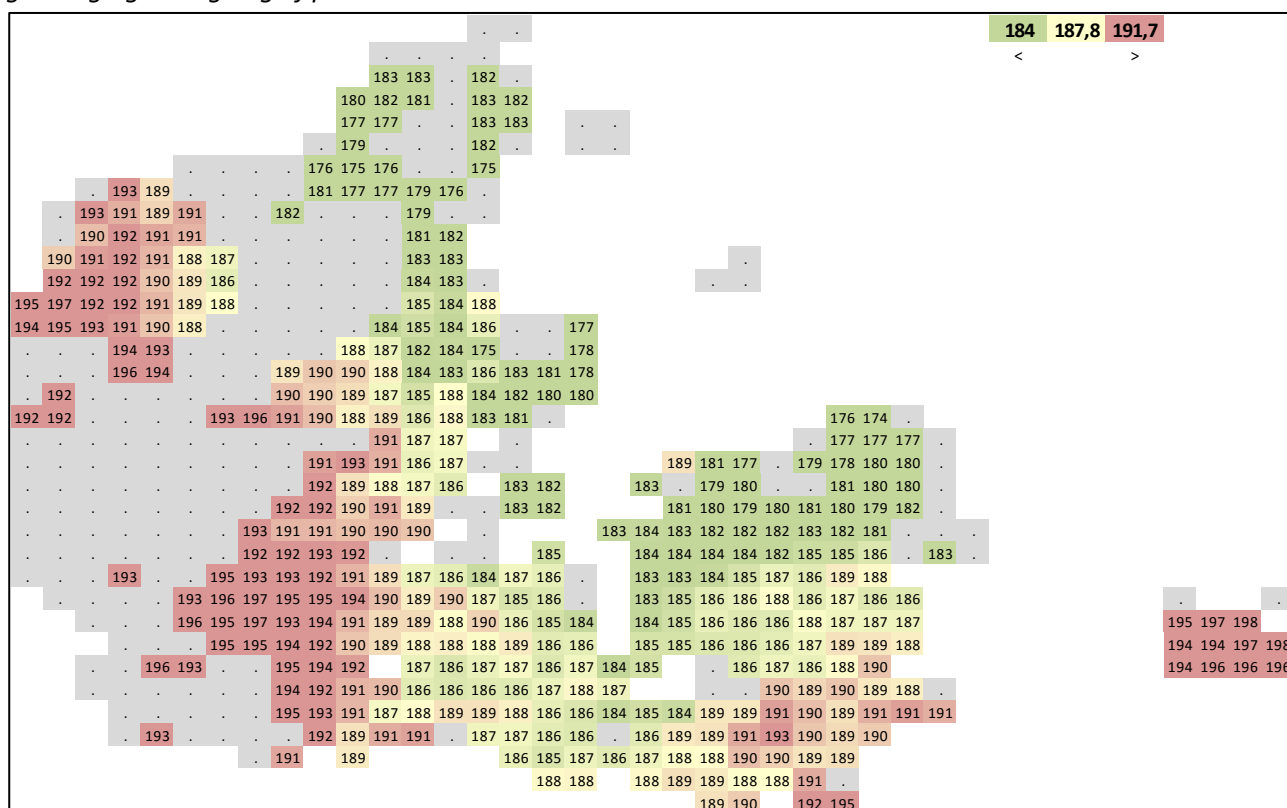
Figur 3.20 Optimal kvælstoftildeling (x^{**})(kg N pr. ha) til vinterhvede JB13 med eftervirkning af organisk gødning og indregning af protein.



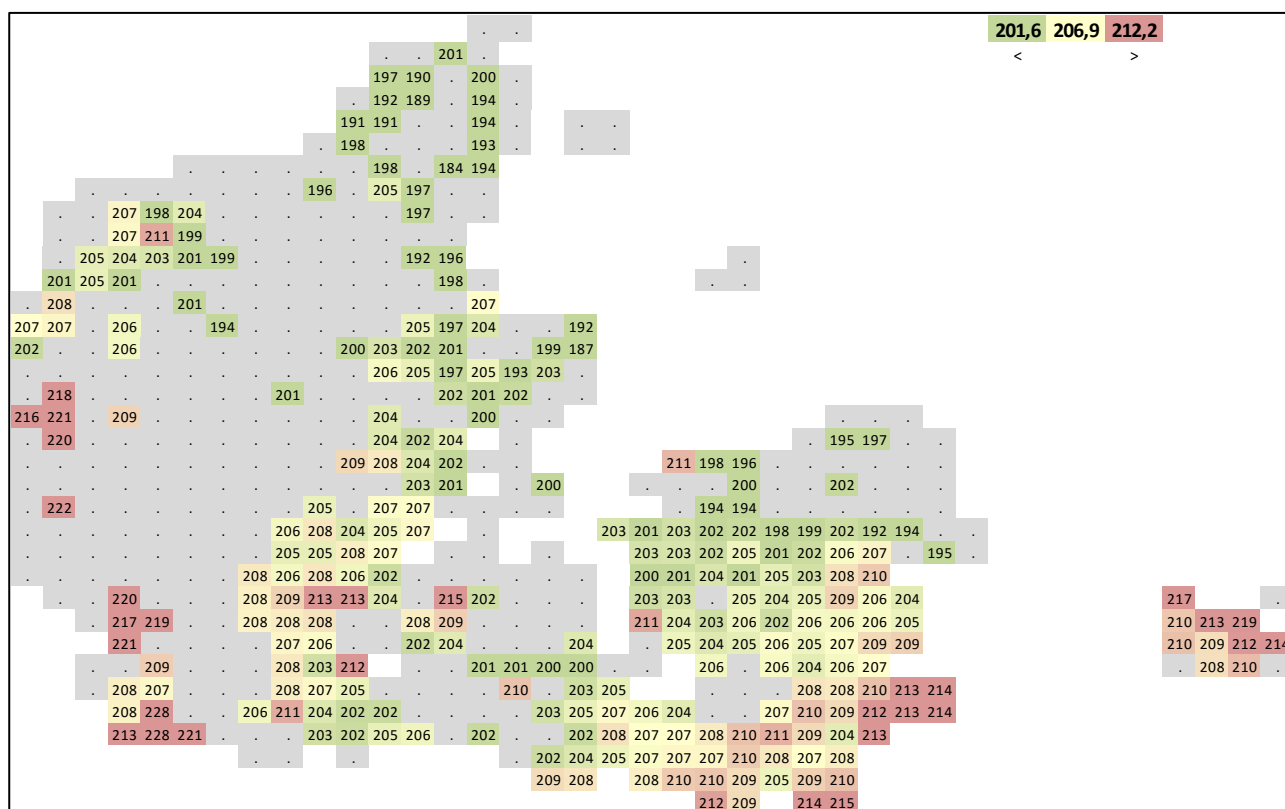
Figur 3.21 Optimal kvælstoftildeling (x^{**} kg)(N pr. ha) til vinterhvede JB24 med eftervirkning af organisk gødning og indregning af protein.



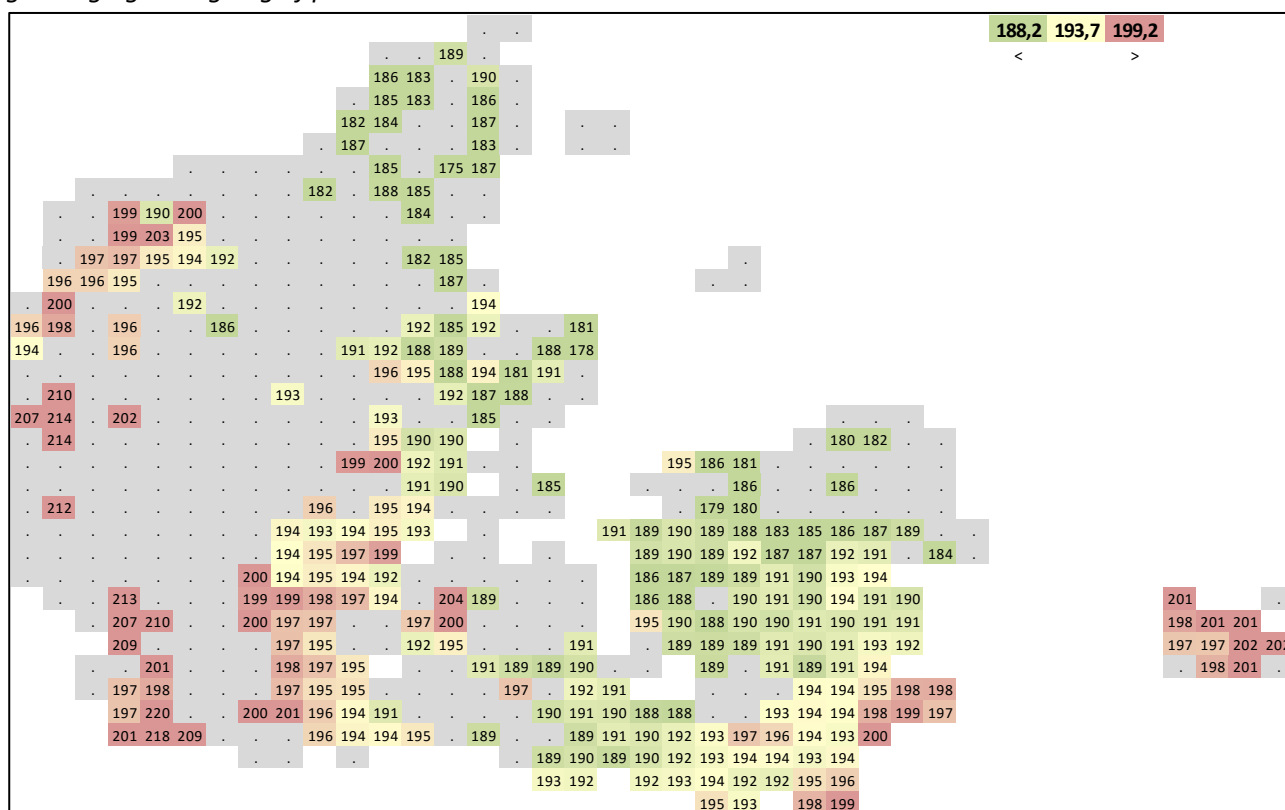
Figur 3.22 Optimal kvælstoftildeling (x^*)(kg N pr. ha) til vinterhvede JB56 med eftervirkning af organisk gødning og indregning af protein.



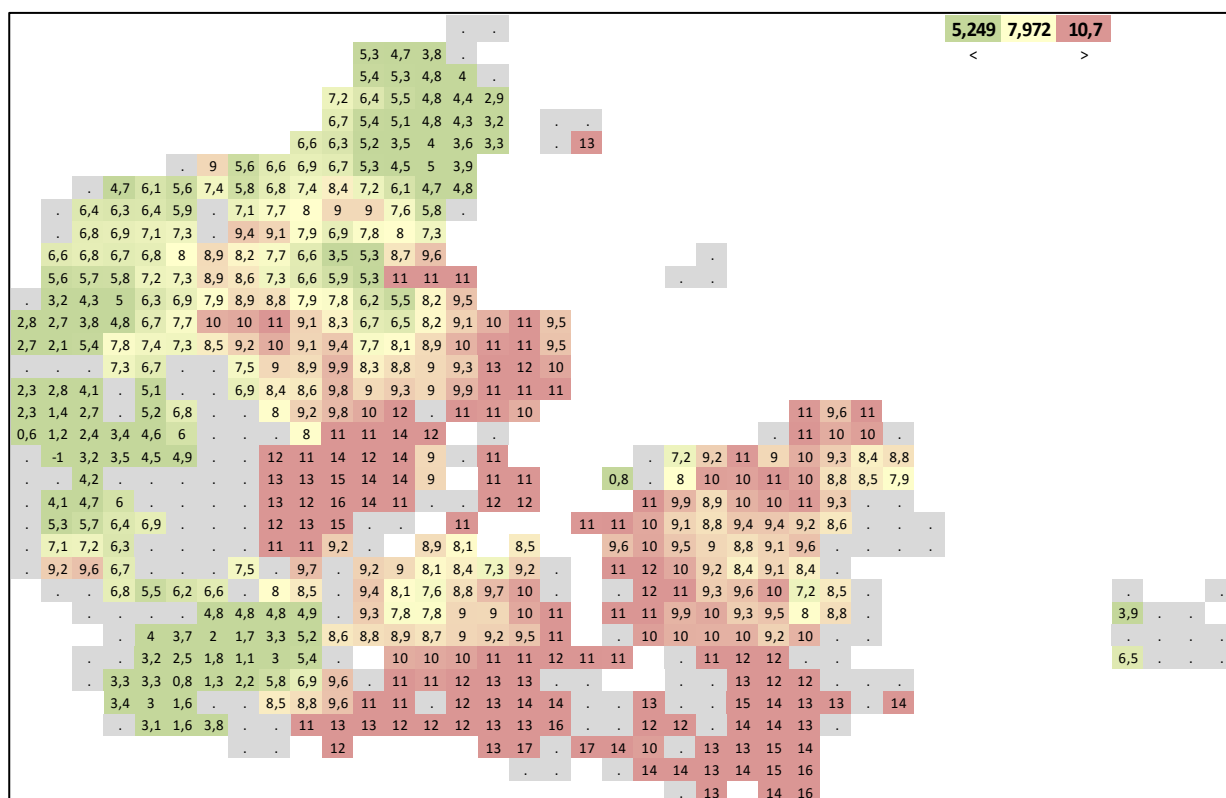
Figur 3.23 Optimal kvælstoftildeling (x^*)(kg N pr. ha) til vinterhvede JB56 uden indregning af proteinværdi og uden eftervirkning af organisk gødning.



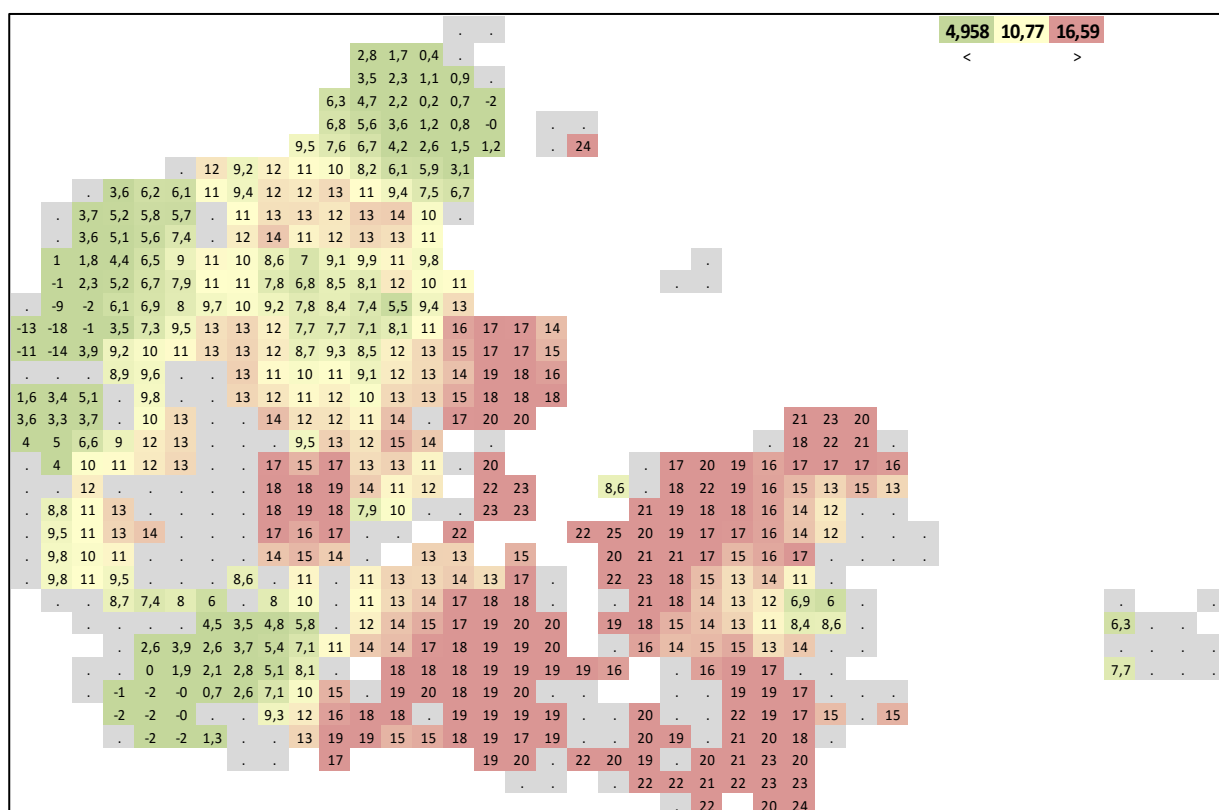
Figur 3.24 Optimal kvælstoftildeling (x^{**})(kg N pr. ha) til vinterhvede JB79 med eftervirkning af organisk gødning og indregning af protein.



Figur 3.25 Optimal kvælstoftildeling (x^{*})(kg N pr. ha) til vinterhvede JB79 uden indregning af proteinværdi og uden eftervirkning af organisk gødning.



Figur 3.26 Korrektion til 10 års optimal tildeling (x^{**})(kg N pr. ha) for vinterhvede JB24 1. april 2016.



Figur 3.27 Ex post korrektion til 10 års optimal tildeling (x^{**})(kg N pr. ha) for vinterhvede JB24 2016.

3.5 Omkostninger ved reduceret kvælstoftildeling

Baseret på IQP2 responsfunktionen kan der, jf. Bilag 3, udledes nogle simple formler til beregning af det økonomiske tab T (kr. pr. ha), når kvælstoftildelingen til vinterhvede reduceres med en given mængde kvælstof Δ (kg N pr. ha) i forhold til en økonomisk optimal tildeling:

$$27) T = \frac{pY}{M^2(1-q^2)} \Delta^2$$

I mange sammenhænge er det hensigtsmæssigt at beregne det økonomiske tab med en udledt faktor α (alfa) eller τ (tau):

$$27) T = p\alpha\Delta^2 \text{ hvor } \alpha = \frac{Y}{M^2(1-q^2)}$$

$$28) T = \tau\Delta^2 \text{ hvor } \tau = \frac{pY}{M^2(1-q^2)}$$

Faktor α er en for afgrøden agronomisk konstant værdi, mens τ også inkluderer produktprisen.

$$27) \tau = \frac{pY}{M^2(1-q^2)}$$

Tabsfaktor (kr. pr. ha) / (kg N pr. ha)²

$$28) \alpha = \frac{Y}{M^2(1-q^2)}$$

Tabsfaktor (hkg pr. ha) / (kg N pr. ha)²

$$29) T = p\alpha\Delta^2 \text{ og } T = \tau\Delta^2$$

Samlet tab (kr. pr. ha)

$$30) \frac{T}{\Delta} = \tau\Delta$$

Gennemsnitligt tab (kr. pr. kg N)

$$31) \frac{dT}{d\Delta} = 2\tau\Delta$$

Marginalt tab (kr. pr. kg N)

I det følgende eksempel på beregning af tau og udbyttetab T i vinterhvede på JB56 med kernepris $p=120$ kr. pr. hkg, udbyttepotentiale $Y=98$ hkg pr. ha, $M=317$ kg N pr. ha, $q=0,5$ og reduktion i tildelingen Δ er 10 kg N pr. ha:

$$\tau = \frac{pY}{M^2(1-q^2)} = \frac{120 \cdot 98}{317^2(1-0,5^2)} = 0,156$$

$$T = \tau\Delta^2 = 0,156 \cdot 10^2 = 15,6 \text{ (kr. pr. ha)}$$

Ved fordoblet reduktion fra 10 til 20 kg N pr. ha firedobles tabet fra 15,6 til 62,4 kr. pr. ha

Tabel 3.7 viser arealvægtet, modelberegnet Y , x_0 , m , x^* og x^{**} for seks jordtyper samt x^* og τ beregnet på grundlag af disse arealvægtede værdier med anvendelse af Afsnit 2 (Ligning 19) samt ovenstående Ligning 29. Dif angiver afvigelsen på x^* beregnet med Ligning (19 og 20) og med NREMO.

Tabel 3.7 Arealvægtet, modelberegnet Y , x_0 , m , x^* for seks jordtyper samt formeludledte x^* , alfa, tau og nettotab (kr. pr. ha)(lille tabel th.) ved en relativ normreduktion på 5-18 pct. beregnet med disse arealvægtede værdier ved en kernepris på 125 kr. pr. hkg og en kvælstofpris på 7,78 kr. pr. kg N.

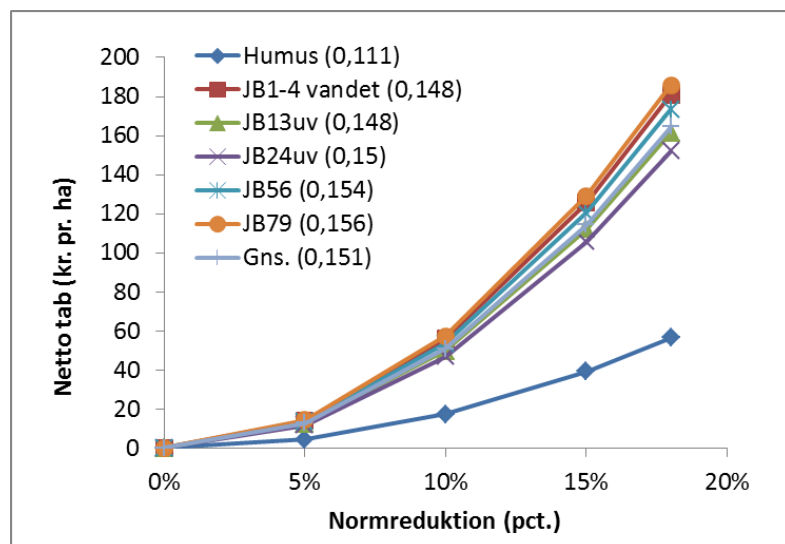
	Kerne Y	x0	m	x*	m. formel	dif	alfa ⁻¹	tau Y	5%	10%	15%	18%	dif 18%
Humus	70,5	164,6	324,8	123,9	125,2	1,3	1123	0,111	4	17	39	57	5
JB1-4 vandet	80,5	80,4	300,7	193,5	194,1	0,5	843	0,148	14	56	126	181	5
JB13uv	85,2	100,0	309,9	183,0	183,6	0,6	846	0,148	12	50	112	161	5
JB24uv	87,0	108,2	311,1	176,7	177,0	0,3	835	0,150	12	47	106	152	3
JB56	92,1	104,0	315,4	186,2	186,2	0,0	810	0,154	13	54	120	173	0
JB79	96,2	104,1	321,0	192,1	192,0	-0,2	803	0,156	14	57	129	186	-2
Gns.	88,5	103,3	312,6	183,2	183,5	0,3	829	0,151	13	51	114	165	3

Tabel 3.8 viser arealvægtet, modelberegnet Y , m , N , M x^{**} for seks jordtyper samt formeludledte x^{**} , tau'er og nettotab ved en relativ normreduktion på 5-18 pct. Dif angiver afvigelsen på x^* beregnet med formel og med NREMO. Dif angiver afvigelsen på x^{**} beregnet med henholdsvis formel og med NREMO, mens "dif 18%" angiver afvigelsen på nettotab ved 18 pct. normreduktion (kr. pr. ha) beregnet med henholdsvis formel (hvor tau = tau Y + tau N) og ved fuld gennemregning med responsfunktion for kerne og protein.

Tabel 3.8 Arealvægtet, modelberegnet Y , m , N , M x^{**} for seks jordtyper samt formeludledte x^{**} , tau'er og nettotab (kr. pr. ha)(lille tabel th.) ved en relativ normreduktion på 5-18 pct. beregnet med disse arealvægtede værdier ved en proteinpris på 3 kr. pr. kg, en kernepris på 101 kr. pr. hkg og en kvælstofpris på 7,78 kr. pr. kg N.

	Kerne Y	m	Kerne N	M	x^{**}	m. formel	dif	tau Y	tau N	tau Y+N	5%	10%	15%	18%	dif 18%
Humus	70,5	324,8	140,5	504,2	135,7	140,3	4,6	0,090	0,026	0,116	5	21	48	69	26
JB1-4 vandet	80,5	300,7	149,1	468,3	212,2	212,8	0,6	0,120	0,032	0,152	17	68	154	222	-3
JB13uv	85,2	309,9	152,5	484,9	199,8	201,1	1,3	0,119	0,031	0,150	15	60	135	194	8
JB24uv	87,0	311,1	155,4	487,6	193,2	194,1	0,9	0,121	0,031	0,152	14	57	127	184	5
JB56	92,1	315,4	163,5	483,5	203,4	203,7	0,2	0,124	0,033	0,158	16	65	147	211	-2
JB79	96,2	321,0	169,0	485,0	209,0	209,0	0,0	0,125	0,034	0,160	17	70	157	226	-4
Gns.	88,5	312,6	158,3	483,7	200,2	200,9	0,7	0,122	0,032	0,154	15	62	139	200	3

Figur 3.28 viser omkostninger ved en reduceret kvælstoftildeling beregnet med tau-metoden (Ligning 28), hvor reduktionen er udtrykt som en relativ normreduktion i forhold til en økonomisk optimal tildeling ved en kernepris på 125 kr. pr. hkg og en kvælstofpris på 7,78 kr. pr. kg N. For udledning af formel til beregning af tab ved reduceret kvælstoftildeling (Ligning 27) samt yderligere eksempler på beregning af tab ved reduceret kvælstoftildeling henvises til Bilag 1.



Figur 3.28 Omkostninger (kr. pr. ha) ved en reduceret kvælstoftildeling til vinterhvede beregnet med tau-metoden (tau værdier er vist i signaturforklaringen), hvor reduktionen er udtrykt som en relativ reduktion i den økonomisk optimale tildeling.

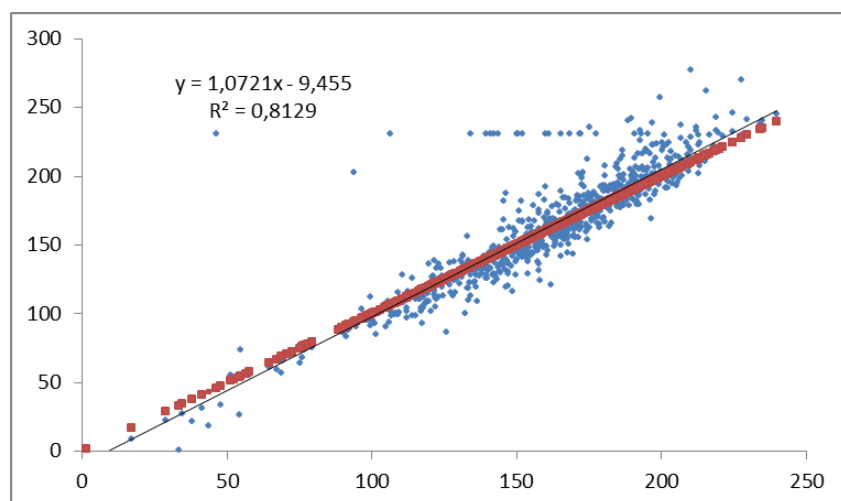
4 Vinterhvede: normindstillinger og prognoser

4.1 Forskel på løsninger med P2/3 og IQP2 for vinterhvede

Med NREMO forklares og beregnes afgrødernes udbyttepotentiale og kvælstofbehov som funktion af forfrugt, eftervirkninger, tekstur og klima. Modellen er estimeret på grundlag af afgrødernes udbyttepotentiale og kvælstofbehov med videre i de enkelte forsøg 1992-2016 bestemt med IQP2-responsfunktionen. En afvigelse mellem udbyttepotentiale og kvælstofbehov bestemt med NREMO og andre modeller og metoder kan derfor dels skyldes forskelle i valg af basale responsfunktioner, dels de forudsætninger, tilgange og antagelser, der er anvendt, når resultaterne fra de enkelte forsøg indlejres i modeller og metoder.

Kvaliteten af beregninger med de i NREMO anvendte IQP2-responsfunktioner kan undersøges ved en sammenligning af IQP2-løsninger med tilsvarende løsninger gennemført under Normudvalget med anden- og tredjegradspolynomier (P2/3). Væsentlige forskelle på løsningerne kan skyldes, at den optimale tildeling med modellen dels ikke beregnes med P2/3, men IQP2-modellen, dels er beregnet med en binding på IQP2's m -parameter.

En kvalitetskontrol viser dog, at der er en høj korrelation mellem optimal kvælstoftilførsel beregnet med henholdsvis P2/3 og IQP2 for vinterhvede (Figur 4.1).



Figur 4.1 Økonomisk optimal kvælstoftilførsel x^* (kg N pr. ha) for vinterhvede beregnet med P2/3 (y-akse) og IQP2 (x-akse). Rød linje markerer 1:1 linjen x^* beregnet med IQP2.

4.2 Sammenligning af kvælstofnormer for vinterhvede

Med henblik på at reducere NREMO for optimal tildeling til vinterhvede blev den fulde model (Tabel 3.4 og Tabel 3.5) reduceret ved at fjerne ikke-signifikante parametre ($P > 0.05$). De resterende responsparametre til bestemmelse af udbyttepotentiale (Y), optimal kvælstoftildeling uden indregning af protein (x^*), kvælstofoptag i kerne (N) og optimal kvælstoftildeling med 75 pct. indregning af protein (x^{**}) fremgår af Tabel 4.1. Ved reduktionen, er Humus 0-25 og 25-60, Halm1 og 25 samt forfrugterne 7. Majs, 8. Roer, 9. Brak og 2. FFF GF blev fjernet, hvorved den korregerede forklaringsgrad er øget med 0,5 pct. (ved forklaring af x^{**}).

Tabel 4.1 Estimerede responsparametre for den reducerede NREMO for vinterhvede: kerneudbytte (Y), optimal kvælstoftildeling uden værdisætning af protein (x*), kvælstofoptag i kerne (N) samt optimal kvælstoftildeling med 75 pct. proteinindregning (x**). For forklaring af responsparametre se Tabel 3.3.

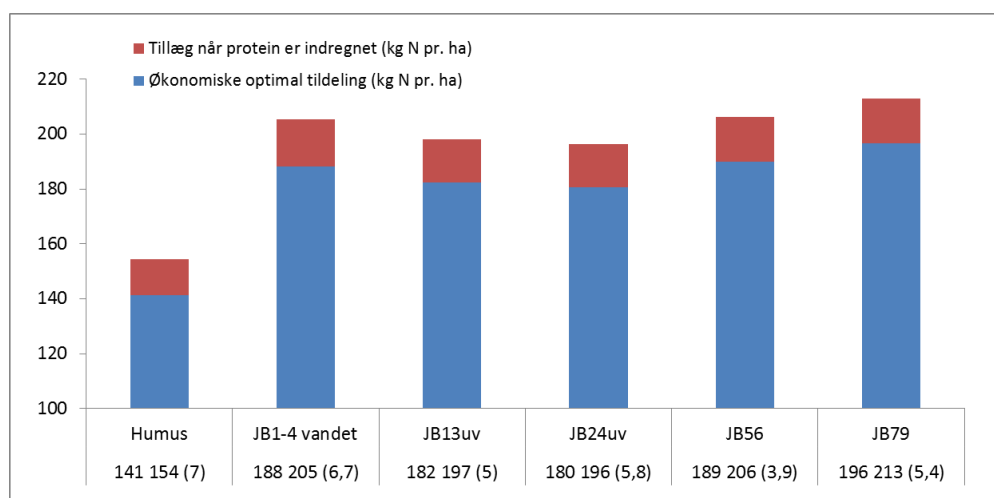
Responsparameter	Uden protein				Med 75 pct. proteinindregning			
	Y	P-værdi	x*	P-værdi	N	P-værdi	x**	P-værdi
INTCP	90.8	<0.0001	196.7	<0.0001	157.6	<0.0001	213.5	<0.0001
Humus	-14.6	0.12	-63.1	<0.0001	-13.4	0.12	-68.1	<0.0001
Vandet	-3.2	0.37	7.1	0.07	-1.6	0.37	8.9	0.07
LER 0-25	-0.2	0.31	0.9	<0.01	-0.1	0.31	1.0	<0.01
LER 25-60	0.4	<0.01	0.9	<0.01	0.7	<0.01	0.8	<0.01
Udvaskning 0-25	-0.2	0.08	0.3	<0.0001	-0.1	0.08	0.4	<0.0001
Udvaskning 25-60	0.0	0.32	0.1	<0.05	0.0	0.32	0.1	<0.05
kgNorgeftv.	-0.3	0.08	-1.0	<0.0001	-0.3	0.08	-0.9	<0.0001
1. Vårsæd	2.9	0.06	-7.7	<0.05	4.2	0.06	-7.4	<0.05
2. Raps	5.3	<0.01	-24.9	<0.0001	7.5	<0.01	-25.4	<0.0001
3. Bælgsæd	5.7	<0.01	-18.7	<0.0001	11.5	<0.01	-17.5	<0.0001
4. Græs ssk.	8.6	<0.05	-43.6	<0.0001	17.9	<0.05	-45.0	<0.0001
5. Frøgræs	2.9	0.11	-17.7	<0.01	6.1	0.11	-17.5	<0.01
6. Kartoffler	7.8	<0.01	-8.6	0.08	14.1	<0.01	-8.5	0.08
3. FFF KGL	-1.3	0.10	-34.1	<0.0001	-5.3	0.10	-36.7	<0.0001
tMinOktMar	1.7	<0.05	-3.4	<0.01	2.0	<0.05	-3.5	<0.01
tAvg_JanMar	2.0	<0.05	5.2	<0.01	2.9	<0.05	5.4	<0.01
tAvgAprMaj	-1.4	0.24	-5.0	<0.01	-1.1	0.24	-5.2	<0.01
tAvgJunJul	-1.0	<0.05	-1.7	0.31	1.8	<0.05	-0.6	0.31
RainApr	0.0	0.34	0.1	<0.05	0.0	0.34	0.1	<0.05
RainMaj	-0.1	<0.01	-0.3	<0.0001	-0.1	<0.01	-0.3	<0.0001
RainJuni	0.0	0.48	-0.1	<0.01	0.0	0.48	-0.2	<0.01
Merudb. fungicider	-0.4	<0.0001	-0.6	<0.05	-1.2	<0.0001	-0.6	<0.05
sådag FØR 263	0.1	<0.05	0.0	0.46	0.3	<0.05	0.0	0.46
sådag EFTER 263	-0.2	<0.05	-0.2	0.23	-0.4	<0.05	-0.2	0.23
FHT (100)	0.3	<0.05	0.3	0.12	0.5	<0.05	0.4	0.12
Nord/100	-2.0	0.32	-4.3	<0.01	-0.6	0.32	-4.1	<0.01
10 År (før 2015)	2.1	0.43	14.5	0.08	1.3	0.43	13.5	0.08
10 År (før 2009)	4.7	0.46	-17.4	0.15	-1.4	0.46	-17.4	0.15
10 År (før 2001)	1.9	<0.01	44.5	<0.01	27.3	<0.01	46.5	<0.01
Trend sand	8.0	<0.0001	-3.8	0.11	12.5	<0.0001	-4.7	0.11
Trend organ	-2.4	0.18	6.8	<0.05	-2.6	0.18	7.9	<0.05

Da NREMO ikke benytter jordtype, men detaljeret tekstur som forklarende variabel, blev der med henblik på efterfølgende at kunne beregne estimater på JB-niveau svarende til Vejledningen (LBST, 2018), udregnet jordbunds- og klimaparametre for samtlige marker, dyrket med vinterhvede på 10x10 km klimagrid-niveau. Beregningerne blev gennemført ved at udtrække klimadata for samtlige 10x10 km DMI klimagrid samt tekstur for samtlige arealer, hvor der har været dyrket vinterhvede 2013-2017, jf. digitale markkort fra Landbrugsstyrelsen. Vægtningen af den økonomisk optimale norm på den enkelte jordtype er baseret på størrelsen af det dyrkede areal med vinterhvede på den pågældende jordtype i de enkelte klimagrid. Denne vægtning er relevant, da forsøgene i modsætning til modellen ikke kan forventes at udtrykke den reelle fordeling af arealer dyrket med vinterhvede i tid og rum.

Normen for "JB 1+3, uvandet" og "JB 2+4, uvandet" er udregnet ved at lade effekten af vanding (8,9 kg N pr. ha, Tabel 4.1) slå igennem med -0,5 (dvs. -4,45 kg N pr. ha), mens normen for "JB 1-4, vandet" er udregnet ved at lade vanding slå igennem med +0,5 (dvs. 4,45 kg N pr. ha). Dette gøres, da der kun er

oplysninger om, hvorvidt det enkelte forsøg er vandet eller ej, og ikke om det kan vandes. Mange forsøg på sandjord kan vandes, men det er kun oplyst, hvilke forsøg der rent faktisk er blevet vandet. Med andre ord vides ikke, hvilke andre forsøg der også ville være blevet vandet, hvis det var muligt. Den estimerede effekt af vanding viser derfor kun værdien af at kunne vande, når der har været et aktuelt behov for det. Med vægtningen -0,5 og 0,5 er det antaget, at der på sandjord er behov for vanding hvert andet år. Hvert andet år er der således antaget en gevinst som følge af vanding på arealer, der kan vandes, og et tab som følge af manglende vanding på arealer, der ikke kan vandes.

Den økonomisk optimale kvælstoftilførsel med og uden proteinindregning (x^{**} og x^*) samt regional spredning (standardafvigelse) på den økonomisk optimale kvælstoftilførsel ses i Figur 4.2.



Figur 4.2 Økonomisk optimal kvælstoftilførsel pr. jordtype med og uden 75 pct. proteinindregning udregnet ud fra Tabel 4.1 og under hensyntagen til, hvor vinterhvede dyrkes. Under de enkelte jordtyper er angivet optimal tildeling u/m proteinindregning samt i parentes den regionale spredning (standardafvigelse) i den optimale tildeling.

Normen for humusjord (JB 11) er markant lavere end for de andre jordtyper, og normen for vandet sandjord er højere end for uvandet sandjord. Desuden ses en lidt højere norm for lerjord (JB56 og JB79) sammenlignet med uvandet sandjord (JB13uv og JB24uv). Værd at bemærke er også spredningen på x^{**} , som varierer fra 5 til 9 afhængig af jordtype. Af Tabel 4.2 ses, at der for jordtyperne "JB 5-6" og "JB 7-9" er god overensstemmelse mellem den indstillede norm for planperioden 2017/18 og normer beregnet i nærværende analyse. Sandjord har derimod en omkring 20 kg N pr. ha lavere kvælstofnorm ved indstillingen end i nærværende analyse. Dette skyldes til dels de forholdsvis lave udbyttener for disse jordtyper, som kvælstofnormen korrigeres til ved indstillingen (se Tabel 4.3). Humusjord sidestilles med "JB 2+4, uvandet" i LBST (2018), hvilket vurderes til at medføre en for høj kvælstofnorm. Disse resultater taler for, at humusjord får sin egen kvælstofnorm. Det skal bemærkes, at "Humus"-estimatet, på trods af, at det kun bygger på fem forsøg, er signifikant forskelligt fra estimaterne for de øvrige jordtyper.

Tabel 4.2 Økonomisk optimal kvælstoftilførsel med og uden proteinindregning udregnet ud fra Tabel 4.1 og under hensyntagen til, hvor vinterhvede dyrkes sammenlignet med normer benyttet ved indstilling af normer for planperioden 2017/18 (LBST, 2017).

Jordtype	Økonomisk optimal norm uden protein (x*)	Økonomisk optimal norm med protein (x**)	Indstilling 2017/18 med protein	Forskel mellem NREMO og indstilling
	kg N pr. ha			
JB 11, humus	126	139	182	-43
JB 1+3, uvandet	187	204	176	28
JB 2+4, uvandet	181	198	182	16
JB 1-4, vandet	197	216	203	13
JB 5-6	191	208	209	-1
JB 7-9	196	214	222	-8

I Vejledningen (LBST, 2018) er det anført, at hvis kornet sælges, uden at der afregnes for proteinindholdet, bør man korrigere kvælstoftilførslen med 20 kg N pr. ha. Forskellen mellem x** og x* for jordtypene (JB 11, humus undtaget) er i gennemsnit 18 kg N pr. ha (Tabel 4.2) og dermed i god overensstemmelse med Vejledningen.

I Tabel 4.3 er de økonomisk optimale kvælstofnormer (x**) korrigeret til udbyttенnormerne i LBST (2017). Efter udbyttekorrektionen er der bedre overensstemmelse mellem normerne beregnet i denne analyse og ved indstillingen, og forskellen i kvælstofnormen på sandjord (uvandet JB 13 og JB 24 samt vandet JB 1-4) er betydeligt reduceret. Udbyttekorrektion er foretaget ved justering af Y i Ligning 17.

Tabel 4.3 Økonomisk optimal kvælstoftildeling og udbytter beregnet med NREMO for vinterhvede sammenlignet med de indstillede normer for planperioden 2017/18 (LBST, 2017) og den økonomisk optimale kvælstofnorm udbyttekorrigeret til udbyttенnormen ved indstillingen.

Jordtype	Økonomisk optimal tildeling m. protein (x**)	Økonomisk optimalt udbytte m. protein (x**)	Norm-indstilling 2017/18	Udbyttенnorm, indstilling 2017/18	Økonomisk optimal norm med protein (x**) udbyttekorrigeret til udbyttенnorm	Forskel mellem NREMO og indstilling
	NREMO	NREMO	Normudvalg	Normudvalg	NREMO	
	kg N pr. ha	hkg pr. ha	kg N pr. ha	hkg pr. ha	kg N pr. ha	kg N pr. ha
JB 11, humus	139	72	182	66	139	-43
JB 1+3, uvandet	204	87	176	52	191	15
JB 2+4, uvandet	198	88	182	66	191	9
JB 1-4, vandet	216	82	203	70	212	9
JB 5-6	208	93	209	84	206	-3
JB 7-9	214	97	222	89	212	-10

4.3 Sammenligning af estimater for forfrugtsværdier i vinterhvede

Ud over fordeling på jordtyper korrigeres kvælstofnormen for forfrugtsværdien. Forfrugtsværdien angiver den mængde kvælstof, en given afgrøde efterlader til rådighed for den efterfølgende afgrøde. I vinterhvede kan forfrugtsværdien af vinterraps, bælgssæd, frøgræs og vårsæd udregnes, da vi her har et tilstrækkeligt antal observationer. I Tabel 4.4 ses en sammenligning af den estimerede forfrugtsværdi (estimer fra Tabel 4.1) med de forfrugtsværdier, der er anvendt ved normindstilling 2018/19. Det skal noteres, at de forfrugtsværdier, der er anvendt ved normindstillingen, er højere end de forfrugtsværdier, der fremgår af Vejledningen (LBST, 2018). Baggrunden herfor er beskrevet i Drejebogen for indstilling af kvælstof- og udbyttensnormer (Normudvalget, 2018).

Tabel 4.4 Forfrugtsværdier ved økonomisk optimal kvælstoftilførsel med 75 pct. proteinindregning (x^{**}) fra Tabel 4.1 (vinterhvede) samt forfrugtsværdier benyttet ved indstilling af normer for planperioden 2018/19 (Normudvalget, 2018).

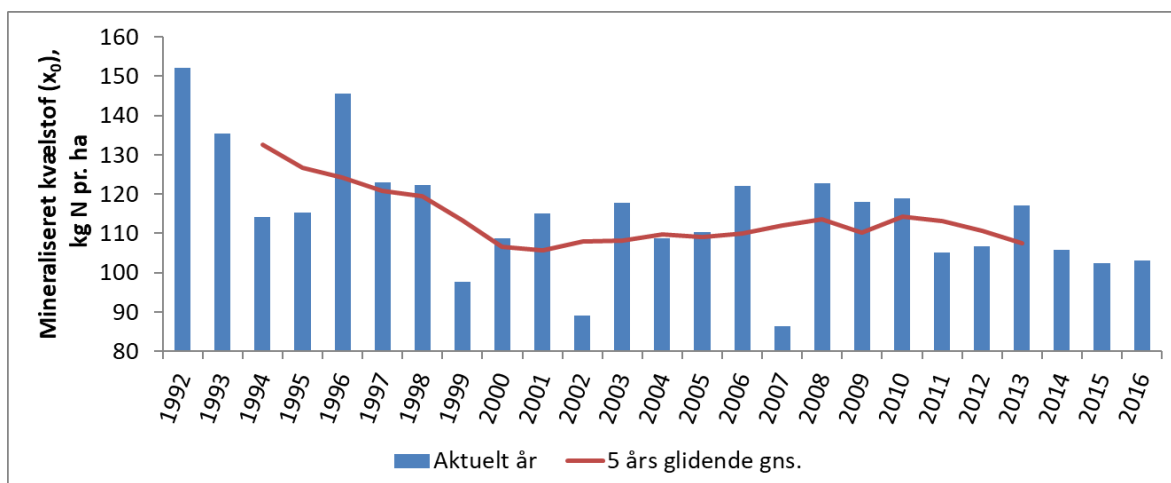
Forfrugt	Vinterraps	Bælgssæd	Frøgræs	Vårsæd
Observationer (NREMO)	127	81	26	124
NREMO forfrugtsværdi, kg N pr. ha	-25	-17	-17	-7
Forfrugtsværdi indstilling 2017/18, kg N pr. ha	-30	-30	-30	0

Forfrugtsværdien af vinterraps er i god overensstemmelse med den ved normindstillingen benyttede, hvorimod forfrugtsværdien af bælgssæd og frøgræs ifølge NREMO er lavere. Vårsæd som forfrugt mindsker med NREMO normen med 7 kg N pr. ha ($P < 0.01$), hvilket der ikke korrigeres for i LBST (2018).

4.4 Sammenligning af kvælstofprognoser for hele landet 1995-2016

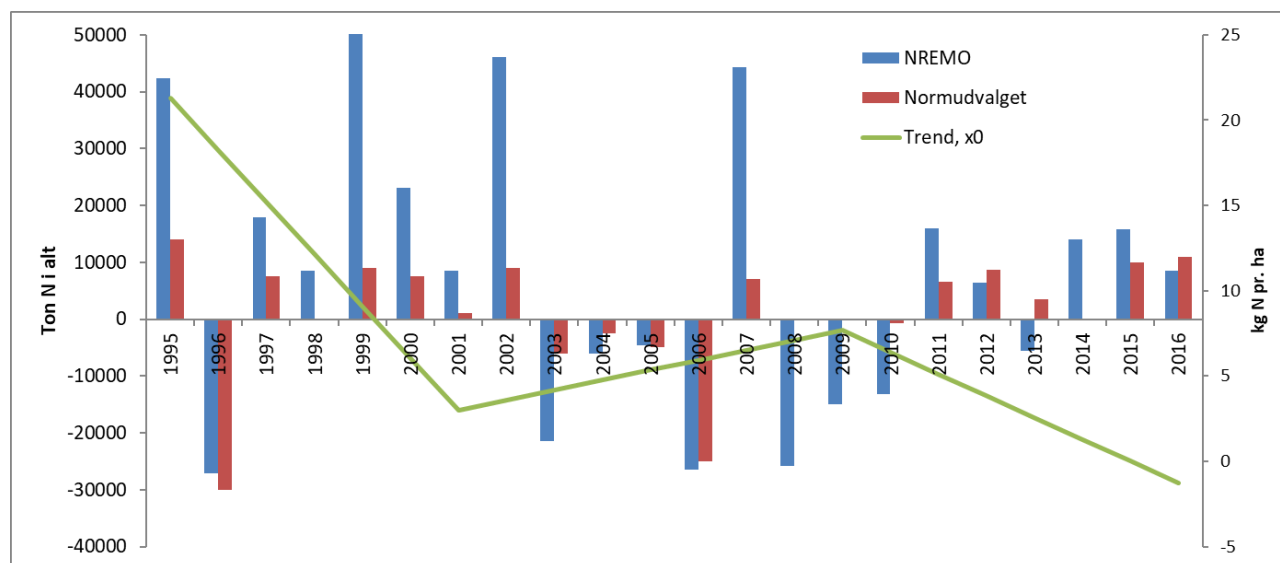
Normudvalget indstiller hvert forår en kvælstofprognose, der angiver, hvor meget årets kvælstofbehov i det tidlige forår afviger fra de forudgående 11 år. Prognosen medfører en regulering af kvælstofnormen i op- eller nedadgående retning for korn og forårssåede afgrøder (prognosearealet). Prognosen er baseret på N-min målinger i februar suppleret med modelberegninger, hvor oplysninger om vejrforhold indtil 1. april samt jordtype- og dyrkningsforhold er benyttet som forklarende variable (SEGES, 2018).

Jordens mængde af mineraliseret kvælstof (x_0) pr. 1. april kan estimeres ved hjælp af følgende NREMO parametre for vinterhvede: "tMinOktMar", "tAvg_JanMar", "tAvgAprMaj", "tAvgJunJul", "RainApr", "RainMaj", "RainJuni", "Udvaskning 0-25", "Udvaskning 25-60", "Humus", "Ler 0-25", "Ler 25-60", "Nord/100", "kgNorgeftv.", "10 År (før 2015)", "10 År (før 2009)", "10 År (før 2001)", "Trend sand" og "Trend organ" (markeret med blå i Tabel 4.1). For hvert af de 609 klimagrid er der gennemført udtræk af prognosearealet pr. jordtype samt de dertil hørende jordbunds- og klimadata. Størrelsen på eftervirkningen i det enkelte klimagrid estimeres ud fra husdyrintensiteten (DE pr. ha). Dermed kan x_0 pr. 1. april på landsplan estimeres ved at vægte de beregnede x_0 -værdier med prognosearealet pr. klimagrid og jordtype. Af Figur 4.3 fremgår, at x_0 er faldet med ca. 3 kg N pr. ha fra 1997 til 2002, hvorefter x_0 har været relativt konstant.



Figur 4.3 Mineraliseret kvælstof optaget fra jordpuljen (x_0) i kg N pr. ha estimeret med NREMO for vinterhvede og vægtet på basis af prognosearealet. Den røde linje angiver 5 års glidende gennemsnit.

Kvælstofprognosen pr. år baseret på NREMO er udregnet ved at trække mineraliseret kvælstof optaget fra jordpuljen (x_0) for det aktuelle år fra gennemsnittet af de forudgående 5 år. For at angive prognosen i tons N er forskellen ganget med det forventede areal (her 2,3 mio. ha) med korn- og forårssåede afgrøder på alle jordtyper. Da dette prognoseareal er højere end for Normudvalgets indstillinger (1,9 mio. ha), er de viste NREMO-beregninger overvurderet med ca. 20 pct. (Figur 4.4).



Figur 4.4 Kvælstofprognose beregnet med NREMO for vinterhvede (blå) sammenlignet med kvælstofprognosen (rød) indstillet af Normudvalget fra 1995 til 2016 (Pedersen, 2016).

Sammenligningen af de to tilgange viser, at der generelt er konsensus om, hvorvidt korrektionen skal være positiv eller negativ (Figur 4.4), og der er beregnet en korrelationskoefficient på 0,71 mellem de to opgørelser. Dog er der i nogle år stor forskel i de absolutte mængder. Det kan være relevant at undersøge årsagerne til de største afvigelser mellem de to tilgange, dvs. 2007, 1999 og 1995.

Der kan være flere grunde til, at der er forskelle i den estimerede korrektion for de to tilgange til bestemmelse af kvælstofprognosen. Grundlaget for kvælstofprognosen udarbejdet under Normudvalget er jordens N-min indhold i februar, hvorimod NREMO-tilgangen er baseret på ændringer i afgrødens optagelse af mineraliseret kvælstof fra jordpuljen (x_0). Desuden indgår grov sandjord ikke i Normudvalgets prognose.

Parameterestimaterne i NREMO (markeret med blå i Tabel 4.4) er udelukkende baseret på forsøg i vinterhvede, mens kvælstofprognosen er baseret på prognoseegnede punkter. Disse punkter dækker både vinter- og vårsæd, hvor arealer før vårsæd er ubevoksede og uden efterafgrøder ved N-min prøvetagning, men størstedelen og en stigende andel er baseret på jordprøver udtaget i vintersæd om foråret (Vinther og Kristensen, 2012). Der er ikke gennemført N-min målinger på grovsandet jord ved kvælstofprognosen, idet de antages at være helt udvaskede. I modsætning hertil viser NREMO en tydelig årsvariation i vinterhvedens optagelse af mineraliseret kvælstof fra jordpuljen også på grovsandet jord. I kvælstofprognosen indstillet af Normudvalget afrundes til nærmeste hele 5 kg N pr ha, hvilket ikke er tilfældet for NREMO-beregningerne.

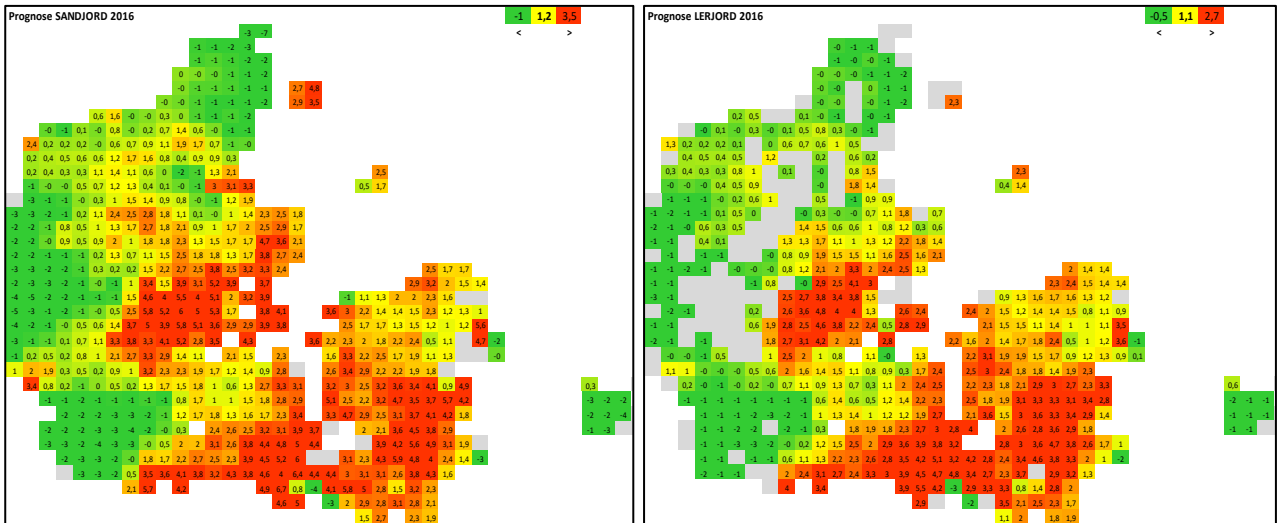
Af andre forhold, som kan påvirke N-min indholdet i februar, nævner Vinther og Kristensen (2012) et stigende areal med efterafgrøder, tidlig såning af vintersæd samt reduceret kvælstofnorm og dens udfasning, om end de klimatiske forhold i efterårs-vinter-perioden vurderes at være den primære årsag til forskellene. Betydningen af disse forhold er inkluderet i NREMO.

4.5 Sammenligning af rumlig fordeling for kvælstofprognoser 2016, 2006 og 2002

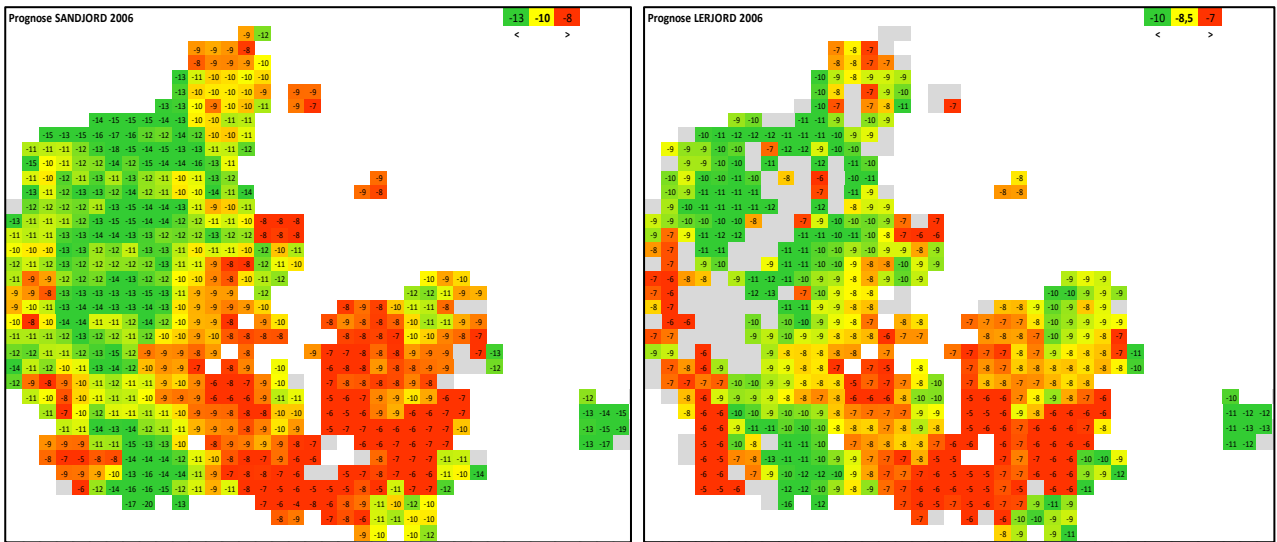
Skal Normudvalgets normberegninger og regionaliserede prognoser sammenlignes med tilsvarende NREMO-beregninger, er det væsentligt, at de regionale forskelle i anvendelse af husdyrgødning medtages i NREMO-beregningerne. Hvor eftervirkning af organisk gødning indgår som en uadskillelig del af N-min indholdet i jordprøverne, har den en separat, adskillelig affekt i NREMO-modellen.

Figur 4.5 - 4.7 viser afvigelser mellem det normale behov og det aktuelle behov for tilførsel af kvælstof for hhv. sandjord og lerjord (th.) beregnet med NREMO for 2016, 2006 og 2002. De valgte år er eksempler på år med forskellige fortegn for og forskellig geografisk omfordeling af den årlige justering af kvælstofbehovet. Til sammenligning viser Figur 4.8 - 4.10 kvælstofprognoserne som er indstillet af Normudvalget for 2016, 2006 og 2002.

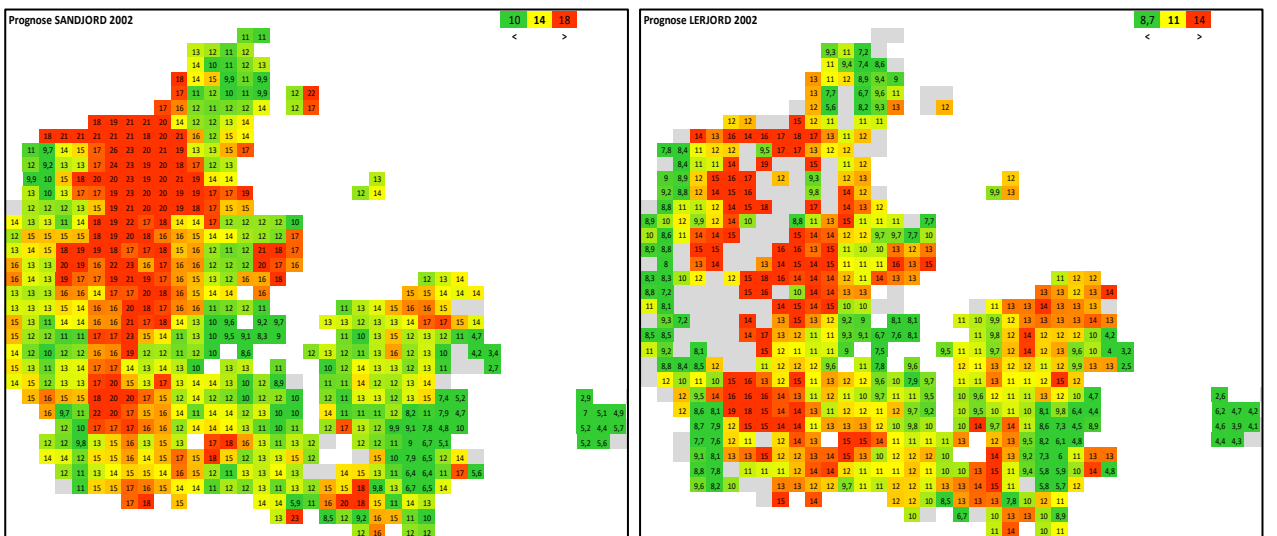
Der er, vurderet på niveauet og den rumlige fordeling, en god overensstemmelse mellem de to metoder til estimering af en kvælstofprognose for 2016 (Figur 4.5 og Figur 4.8), men fordelingen på jordtyper er forskellig. Med NREMO skal kvælstofbehovet korrigeres mere på sandjord end lerjord, hvorimod det er omvendt ved kvælstofprognosen indstillet af Normudvalget. For 2006 er der en god overensstemmelse mellem de to tilgange med hensyn dels til geografisk fordeling af korrektionen, men Normudvalgets kvælstofprognose, især for lerjord, er højere end korrektionen baseret på NREMO for vinterhvede (Figur 4.6 og Figur 4.9). For 2002 er der ligeledes god overensstemmelse mellem de to tilgange med hensyn til geografisk fordeling af korrektionen (Figur 4.7 og Figur 4.10). Korrektionerne er stort set ens for lerjord, men for sandjord er Normudvalgets korrektion tæt på 0, mens den i gennemsnit er 13 kg N pr. ha med NREMO for vinterhvede. Samlet set gælder det, at der er en god overensstemmelse mellem de to tilgange når det gælder fortegn og geografisk fordeling af de årlige korrektioner, men i modsætning til indstillingerne fra Normudvalget, udløser NREMO generelt større korrektioner for sandjord end for lerjord.



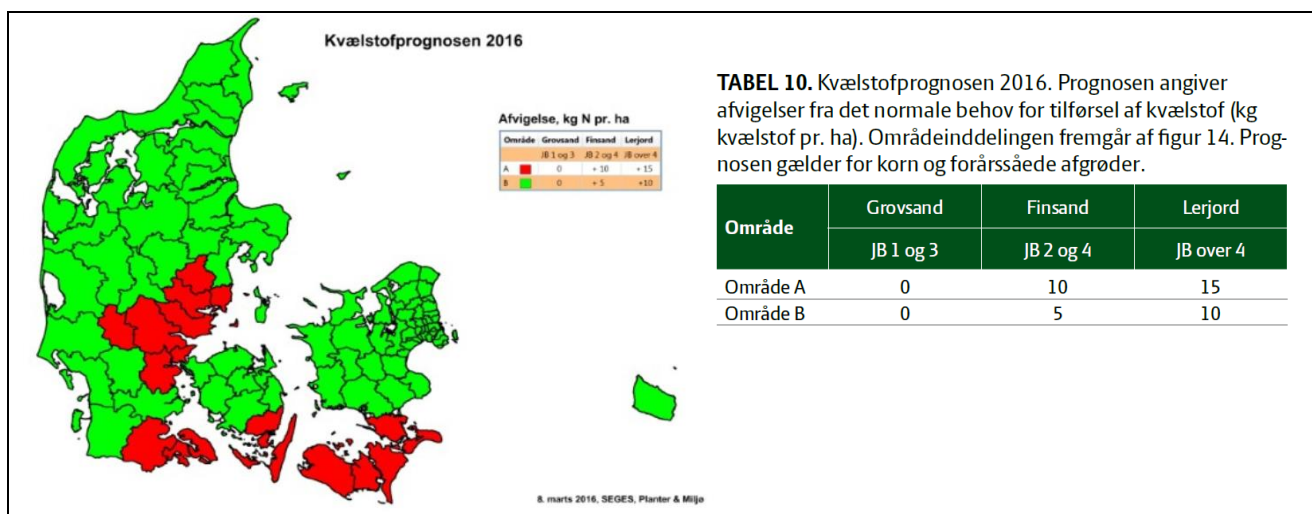
Figur 4.5 Kvælstofprognoser for 2016 for x_0 med 10 foregående, ikke trendkorrigerede år som reference.



Figur 4.6 Kvælstofprognoser for 2006 for x_0 med 10 foregående ikke trendkorrigerede år som reference.



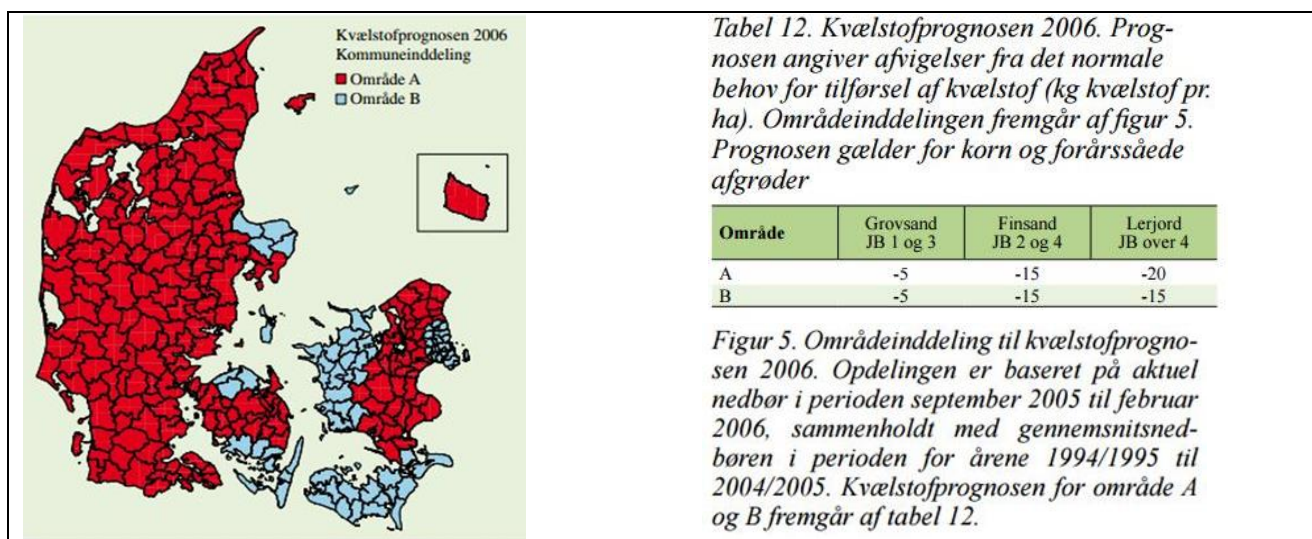
Figur 4.7 Kvælstofprognoser for 2002 for x_0 med 10 foregående ikke trendkorrigerede år som reference.



TABEL 10. Kvælstofprognosen 2016. Prognosen angiver afvigelser fra det normale behov for tilførsel af kvælstof (kg kvælstof pr. ha). Områdeinddelingen fremgår af figur 14. Prognosen gælder for korn og forårssåede afgrøder.

Område	Grovsand	Finsand	Lerjord
	JB 1 og 3	JB 2 og 4	JB over 4
Område A	0	10	15
Område B	0	5	10

Figur 4.8 Normudvalgets kvælstofprognose 2016.

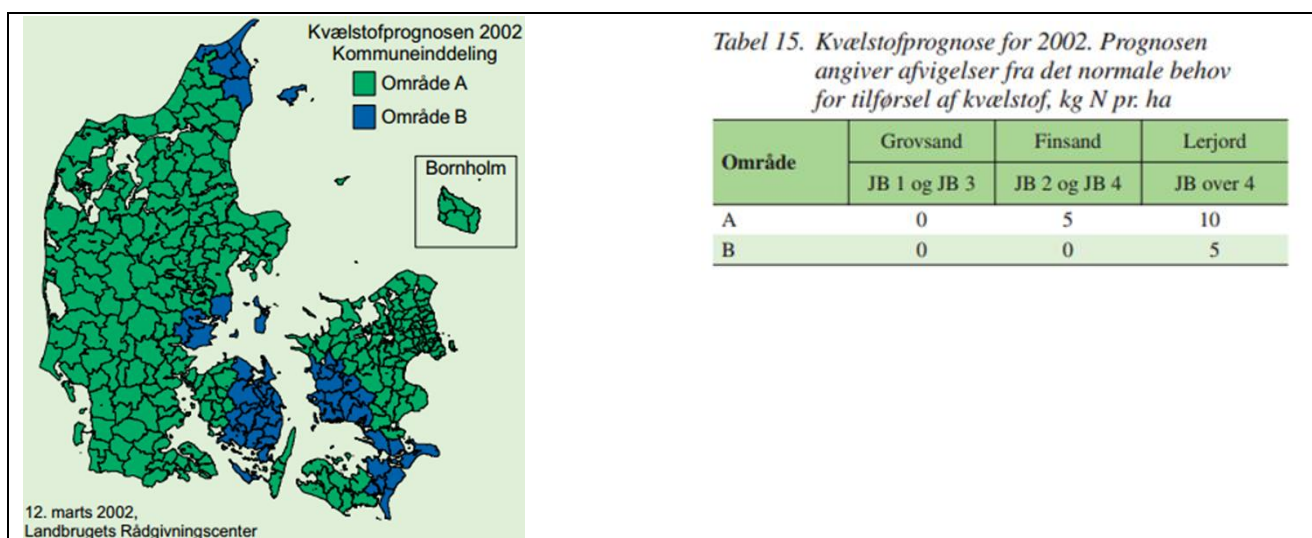


Tabel 12. Kvælstofprognosen 2006. Prognosen angiver afvigelser fra det normale behov for tilførsel af kvælstof (kg kvælstof pr. ha). Områdeinddelingen fremgår af figur 5. Prognosen gælder for korn og forårssåede afgrøder

Område	Grovsand JB 1 og 3	Finsand JB 2 og 4	Lerjord JB over 4
	JB 1 og 3	JB 2 og 4	JB over 4
A	-5	-15	-20
B	-5	-15	-15

Figur 5. Områdeinddeling til kvælstofprognosen 2006. Opdelingen er baseret på aktuel nedbør i perioden september 2005 til februar 2006, sammenholdt med gennemsnitsnedbøren i perioden for årene 1994/1995 til 2004/2005. Kvælstofprognosen for område A og B fremgår af tabel 12.

Figur 4.9 Normudvalgets kvælstofprognose 2006.



Tabel 15. Kvælstofprognose for 2002. Prognosen angiver afvigelser fra det normale behov for tilførsel af kvælstof, kg N pr. ha

Område	Grovsand	Finsand	Lerjord
	JB 1 og JB 3	JB 2 og JB 4	JB over 4
A	0	5	10
B	0	0	5

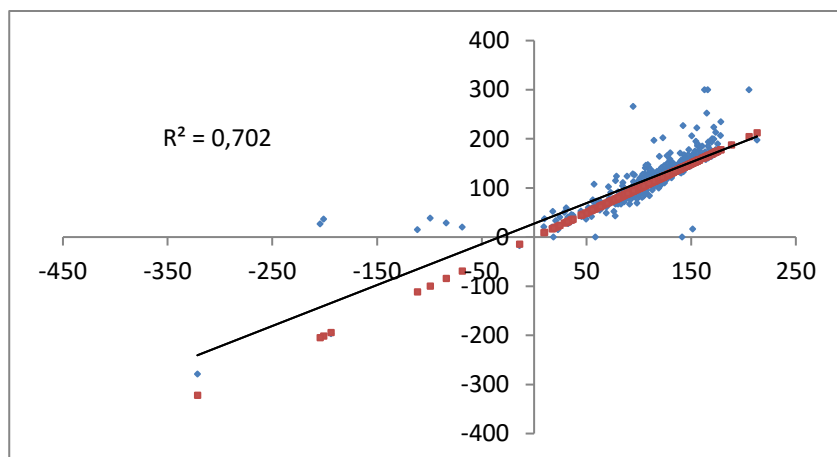
Figur 4.10 Normudvalgets kvælstofprognose 2002.

5 Vårbyg: data, model og resultater

Der er indsamlet data fra 408 landsforsøg med kvælstoftildeling til vårbyg for årene 1992 til 2017. Der er beregnet IQP2-responsparametre for 366 forsøg med registrering af såvel kerneudbytte som optagelse af kernekvælstof samt fyldestgørende oplysninger om placering og forfrugter med videre. For ikke at begrænse antallet af forsøg yderligere, er det valgt at se bort fra kravet om teksturdata målt i forsøgene. I stedet er det valgt udelukkende at benytte teksturdata fra Adhikari et al. (2013). Lige som for vinterhvede, er der for vårbyg valgt faste q og k parametre, samt forslag til vægtede, supplerende m værdier (Tabel 5.1). Som det fremgår af Figur 5.1, er der god overensstemmelse mellem IQP2 og klassisk P2/3-tilgang.

Tabel 5.1 Fælles q og k -parametre samt fælles forslag til supplerende observation af m -parameter for henholdsvis kerneudbytte (Y) og kvælstofoptag i kerne (N) for vårbyg.

	Y	N
q (crs)	0,3	0,7
k (plat)	0,5	0,5
m	245	430



Figur 5.1 Økonomisk optimal kvælstoftilførsel x^* (kg N pr. ha) for vårbyg beregnet med P2/3 (y-akse) og IQP2 (x-akse). Rød linje markerer 1:1-linjen x^* beregnet med IQP2.

Der er estimeret NREMO-responsparametre for vårbyg med samme grundlæggende model som for vinterhvede. I forhold til vinterhvede er modellen for vårbyg imidlertid væsentligt reduceret. Dette skyldes ikke mindst, at der er langt færre forsøg med kvælstoftildeling til vårbyg.

Ved forsøg på inddragelse af både overjord og underjord er der konstateret, stort set lige store, modsatrettede effekter af udvaskning fra de to horisonter, begge bestemt på 80 pct. signifikansniveauet. Også med henblik på at opnå en høj forklaringsgrad (justeret R^2) er det valgt kun at inddrage overjorden, hvor kun ler og humus, men ikke udvaskning, er signifikante, forklarende variable.

NREMO-parameterestimater for vårbyg med 25 forklarende variable (trendparametre ikke vist) er vist i Tabel 5.2.

Tabel 5.2 NREMO-estimer for vårbyg udbyttepotentiale (Y (hkg pr. ha) og N (kg N pr. ha)), handelsgødnings-ækvivalent puljekvælstof (x_0 og x_{00})(kg N pr. ha), mængde kvælstof, der kræves for opnåelse af udbyttepotentialet (m og M (kg N pr. ha)), samt optimal kvælstoftildeling uden og med proteinværdi indregnet (x^* og x^{**} (kg N pr. ha)). For hver parameter er angivet estimat, standardafvigelse på estimatet (sigma) samt halesandsynlighed (pct.) for, at estimatet er forskelligt fra nul (konfidens).

	INTCP	Humus > 9 (0/1)	Vandet (0/1)	LER 0-25	HUM 0-25 (ej Jb11)	kgNorgeftv.	4. Græs ssk.	5. Frøgræs	13. Øvrig GF	2. FFF GF	3. FFF KGL	tAvgAprMaj	tAvgJunJul	RainApr	RainMaj	sådag FØR 131	sådag EFTER 131	FHT (100)	Nord/100	10 År (før 2015)	10 År (før 2009)	10 År (før 2001)	trend sand	trende organ	Sigma og R ² (pct.)
Obs.	366	2	58				19	5	120	94	39														
Kerne Y																									
Estimat	71,4	-11	1,69	0,61	-0,27	0,01	-0,46	4,91	4,43	2,49	-0,04	-0,94	-1,44	-0,03	0,06	-0,06	-0,28	0,17	-1,26	16,4	-20,3	12	6,39	2,157	
Sigma	2,36	7,53	1,85	0,18	0,38	0,11	2,91	4,69	1,31	1,36	2,12	0,75	0,6	0,03	0,03	0,1	0,1	0,2	0,89	4,72	7,55	5,97	1,79	1,852	
Konfidens	100	92,8	82	100	76,2	54,9	56,3	85,3	100	96,7	50,7	89,3	99,2	85,4	98	72,8	99,7	81,3	92,2	100	99,6	97,7	100	87,79	
Kerne N																									
Estimat	116	-21,7	5,62	0,64	-0,22	0,15	-7,05	4,34	3,2	3,75	0,93	-2,26	0,41	-0,12	0,04	-0,09	-0,28	0,24	-0,79	13,8	-14,3	5,51	7,52	4,716	
Sigma	4,37	14	3,43	0,33	0,71	0,21	5,39	8,7	2,43	2,52	3,93	1,4	1,11	0,06	0,05	0,18	0,19	0,37	1,65	8,76	14	11,1	3,31	3,435	
Konfidens	100	94	94,9	97,5	62,1	76	90,5	69,1	90,6	93,1	59,4	94,7	64,3	98,3	77,5	69,2	93,2	74	68,4	94,2	84,7	69	98,8	91,51	
x0																									
Estimat	80,1	53	-23,5	0,14	5,69	1,24	98,6	66,5	2,91	-5,58	36	-1,96	1,29	-0,21	-0,2	0,05	0,8	-0,67	1,27	11,2	-27,7	15	15,1	-2,2	
Sigma	8,87	28,4	6,96	0,66	1,44	0,42	10,9	17,7	4,92	5,12	7,99	2,84	2,25	0,11	0,1	0,37	0,39	0,74	3,35	17,8	28,4	22,5	6,73	6,971	
Konfidens	100	96,9	100	58,3	100	99,8	100	100	72,3	86,2	100	75,5	71,7	96,9	97,8	55	98,1	81,6	64,7	73,5	83,5	74,8	98,8	62,36	
x00																									
Estimat	175	67,3	-35	0,1	4,07	1,42	103	28,6	3,49	-9,3	28,8	-2,38	-3,5	0,05	-0,08	0,07	0,35	-0,99	-0,06	-19,9	35,5	-33,2	18,4	-2,86	
Sigma	8,82	28,2	6,92	0,66	1,43	0,42	10,9	17,6	4,89	5,09	7,94	2,82	2,24	0,11	0,1	0,37	0,38	0,74	3,33	17,7	28,3	22,4	6,69	6,931	
Konfidens	100	99,1	100	56,3	99,8	100	100	94,9	76,2	96,6	100	80,1	94,1	66,5	77,7	57,1	81,9	91,1	50,8	87	89,6	93,1	99,7	65,99	
m																									
Estimat	244	13,8	0,62	0,17	-1,06	0,25	-0,53	6,95	-4,74	5,87	-0,55	0,08	-3,89	0,02	0,06	-0,42	0,15	-0,27	0,54	-3,11	5,49	-13,4	3,91	3,802	
Sigma	3,66	11,7	2,87	0,27	0,59	0,17	4,51	7,28	2,03	2,11	3,29	1,17	0,93	0,05	0,04	0,15	0,16	0,31	1,38	7,33	11,7	9,27	2,77	2,875	
Konfidens	100	88,1	58,6	72,9	96,3	92,4	54,7	83	99	99,7	56,6	52,7	100	64,7	91,1	99,7	82,1	81,5	65,3	66,4	68	92,6	92,1	90,7	
M																									
Estimat	423	20,7	-5,69	-0,77	0,3	0,41	4,35	2,07	-4,82	5,01	2,88	-2,73	-3,88	-0,01	0,07	-0,51	-0,16	-0,29	0,28	-7,81	8,05	-17,5	8,9	6,551	
Sigma	5,21	16,6	4,08	0,39	0,84	0,25	6,42	10,4	2,89	3,01	4,69	1,66	1,32	0,07	0,06	0,22	0,23	0,44	1,96	10,4	16,7	13,2	3,95	4,092	
Konfidens	100	89,4	91,8	97,6	63,8	95,3	75,1	57,9	95,2	95,2	73,1	95	99,8	56,5	86,6	99	76,7	74,9	55,7	77,3	68,5	90,7	98,8	94,53	
x*																									
Estimat	139	-53,1	25,7	0,33	-6,5	-1	-99	-57	-4,19	10,9	-36,8	1,5	-5,14	0,22	0,28	-0,37	-0,86	0,56	-1,77	-8,12	25	-19	-7,67	6,458	
Sigma	9,55	30,5	7,49	0,71	1,55	0,45	11,8	19	5,3	5,51	8,6	3,05	2,42	0,12	0,11	0,4	0,42	0,8	3,6	19,1	30,6	24,2	7,24	7,505	
Konfidens	100	95,9	100	67,9	100	98,6	100	99,9	78,5	97,6	100	68,9	98,3	96,4	99,5	82	98,1	75,9	68,8	66,4	79,3	78,4	85,5	80,52	
x**																									
Estimat	151	-54	28	0,19	-6,66	-0,99	-108	-60,6	-5,37	11,5	-38,1	1,18	-4,57	0,19	0,27	-0,38	-0,86	0,61	-1,76	-8,63	24,6	-19,8	-8,67	7,005	
Sigma	10	32	7,84	0,75	1,62	0,47	12,3	19,9	5,55	5,77	9	3,2	2,53	0,13	0,11	0,42	0,43	0,84	3,77	20	32	25,3	7,58	7,858	
Konfidens	100	95,5	100	60,3	100	98,2	100	99,9	83,4	97,7	100	64,4	96,4	92,8	99,2	81,9	97,5	76,6	67,9	66,7	77,9	78,3	87,4	81,37	

Reference for sådato er dag 131 svarende til 11. maj. Forholdstal for vårbygssorter (FHT) ses i Bilag 3. For en detaljeret analyse af de resterende forklarende modelvariable henvises til Tabel 3.3.

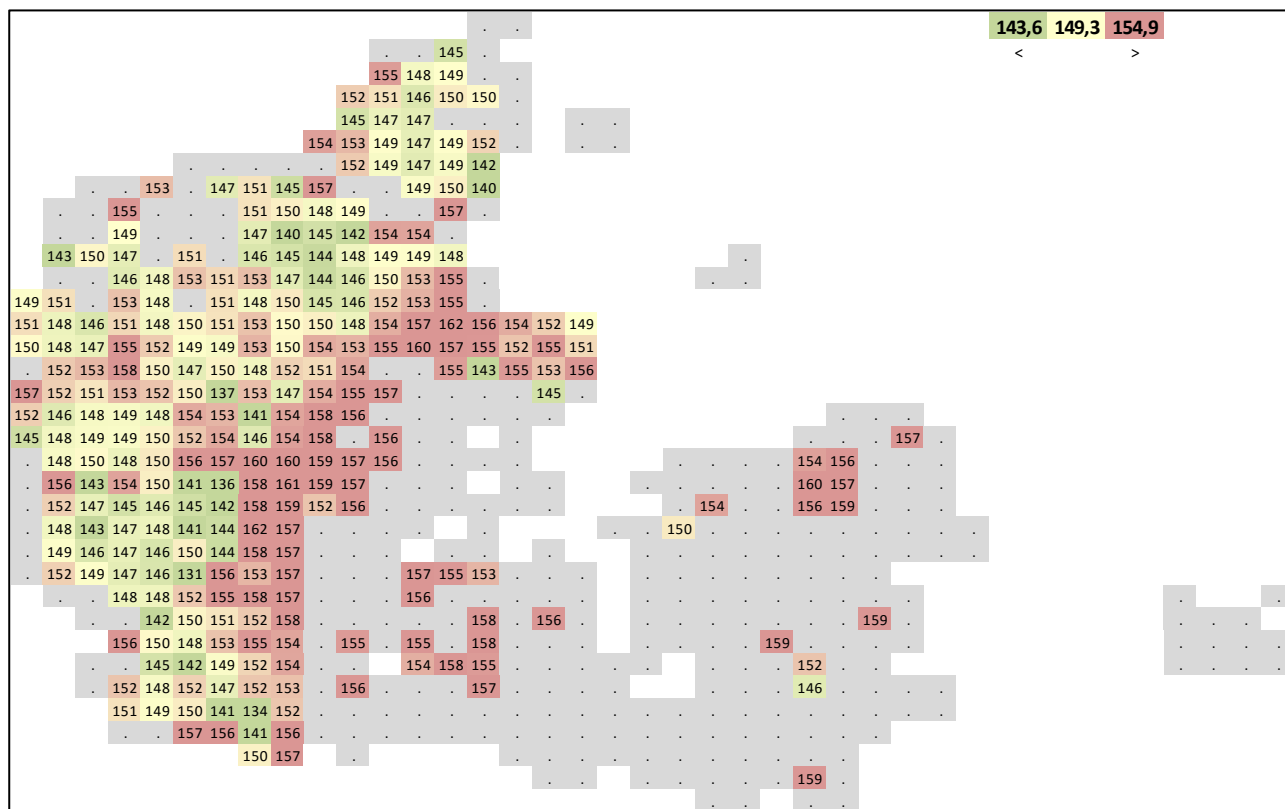
I modsætning til vinterhvede er der ikke fundet signifikante, prognoseegnede parametre som fx udvaskning eller vintertemperaturer. Sædskiftegræs og frøgræs er med henholdsvis ca. 100 og ca. 60 kg N pr. ha signifikante og væsentlige forfrugter. Sædskiftegræs er med ca. 38 kg N pr. ha ligeledes en god forforfrugt (op til fem år forud for vårbyg).

Med henblik på at kunne beregne responsparametre pr. jordtype er der beregnet gennemsnitlige tekstur-, vejr- og udvaskningsdata for samtlige arealer dyrket med vårbyg i perioden 2013-2017 fordelt på seks jordtyper. På dette grundlag er der med NREMO-beregnet potentielt kerneudbytte (Y og N), puljekvælstof (x_0 og x_{00}), m og M samt optimal kvælstoftildeling uden og med indregning af proteinværdi (x^* og x^{**}) for vårbyg dyrket på de seks jordtyper (Tabel 5.3).

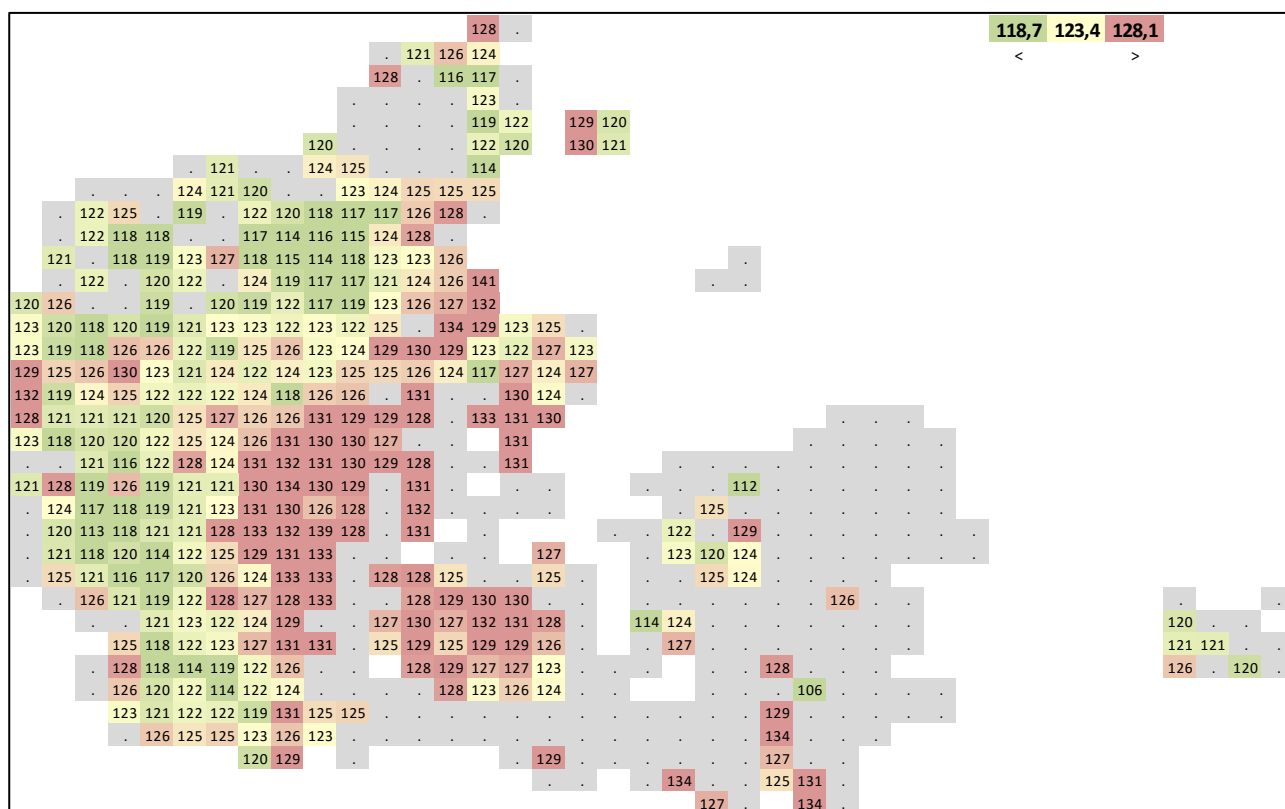
Tabel 5.3 NREMO-beregnete responsparametre for vårbyg 2005-2015.

	Vægt	Kerne Y	x0	m	x*	Kerne N	x00	M	x**
Humus	2%	58,4	135,8	254,9	79,2	94,8	237,1	442,7	92,7
JB1-4 vandet	12%	69,0	70,7	241,1	144,8	116,8	153,9	422,0	159,9
JB13uv	10%	67,3	94,3	240,1	118,6	111,7	187,8	426,7	131,6
JB24uv	30%	67,7	95,5	240,5	117,8	113,1	187,6	425,3	131,6
JB56	35%	72,7	81,5	240,3	135,0	119,7	167,2	415,9	147,8
JB79	11%	76,5	83,4	240,7	135,5	123,7	168,2	410,9	147,2
Gns.	100%	69,7	87,1	241,0	128,0	115,8	175,7	421,5	141,4
q (crs)		0,3				0,7			
k (plat)		0,5				0,5			

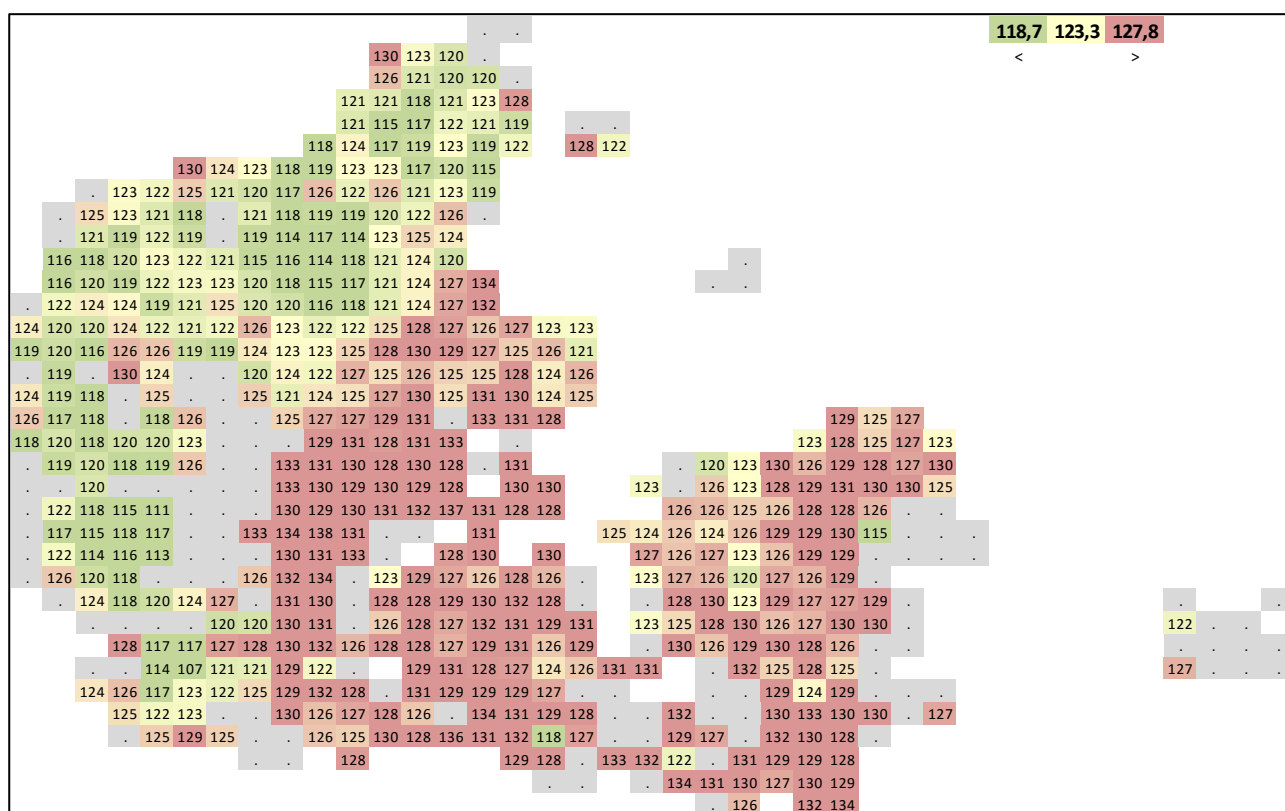
Gennemsnitlig optimal kvælstoftildeling (x^{**}) til vårbyg 2006-2015 beregnet med NREMO med 2016-priser og trend er vist i Figur 5.2-5.6. Hvor intet andet er anført, er der indregnet proteinværdi og eftervirkning fra husdyrgødning. Disse kort er suppleret med beregning af optimal tildeling uden indregning af protein og eftervirkning fra husdyrgødning for JB24 (Figur 5.7) samt et kort, der viser ex post korrektion til optimal tildeling 2016 for JB24 (Figur 5.8).



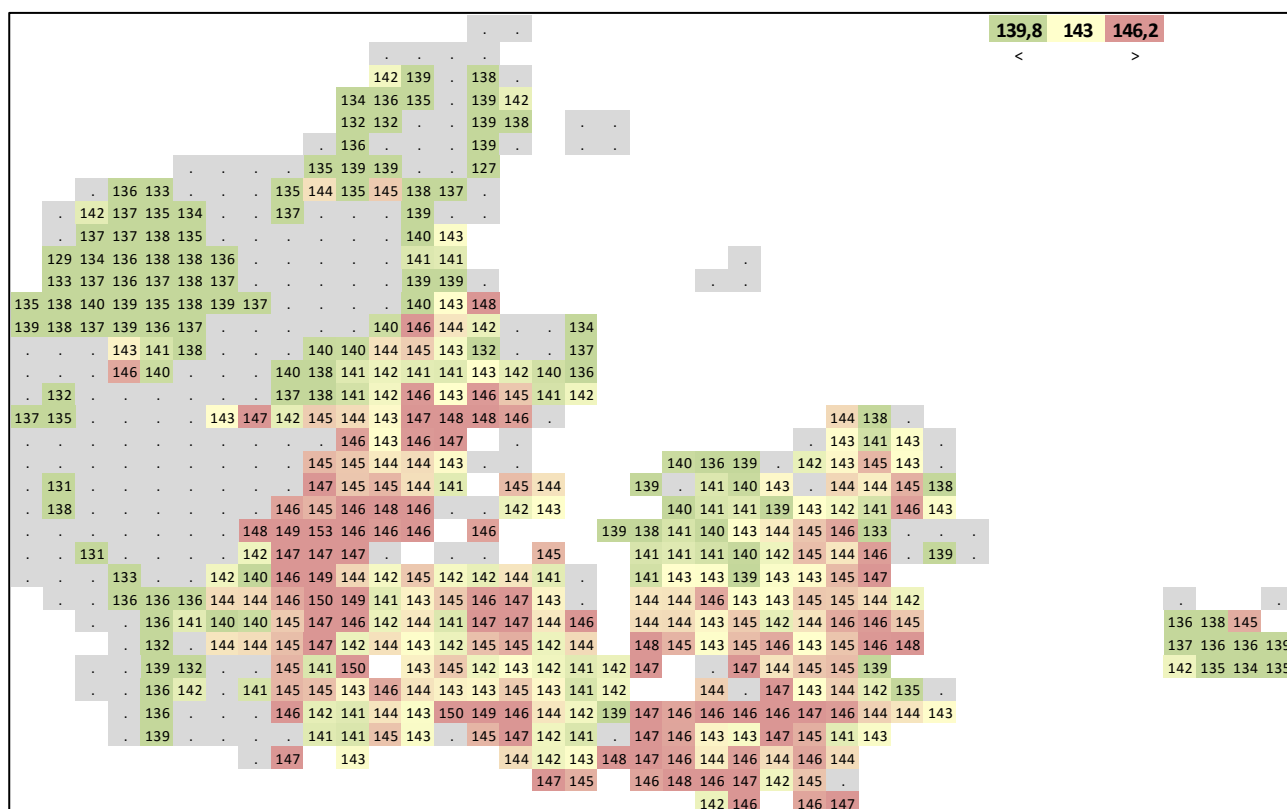
Figur 5.2 Optimal kvælstoftildeling (x^{**})(kg N pr. ha) til vandet vårbyg på JB1-4 med eftervirkning af organisk gødning.



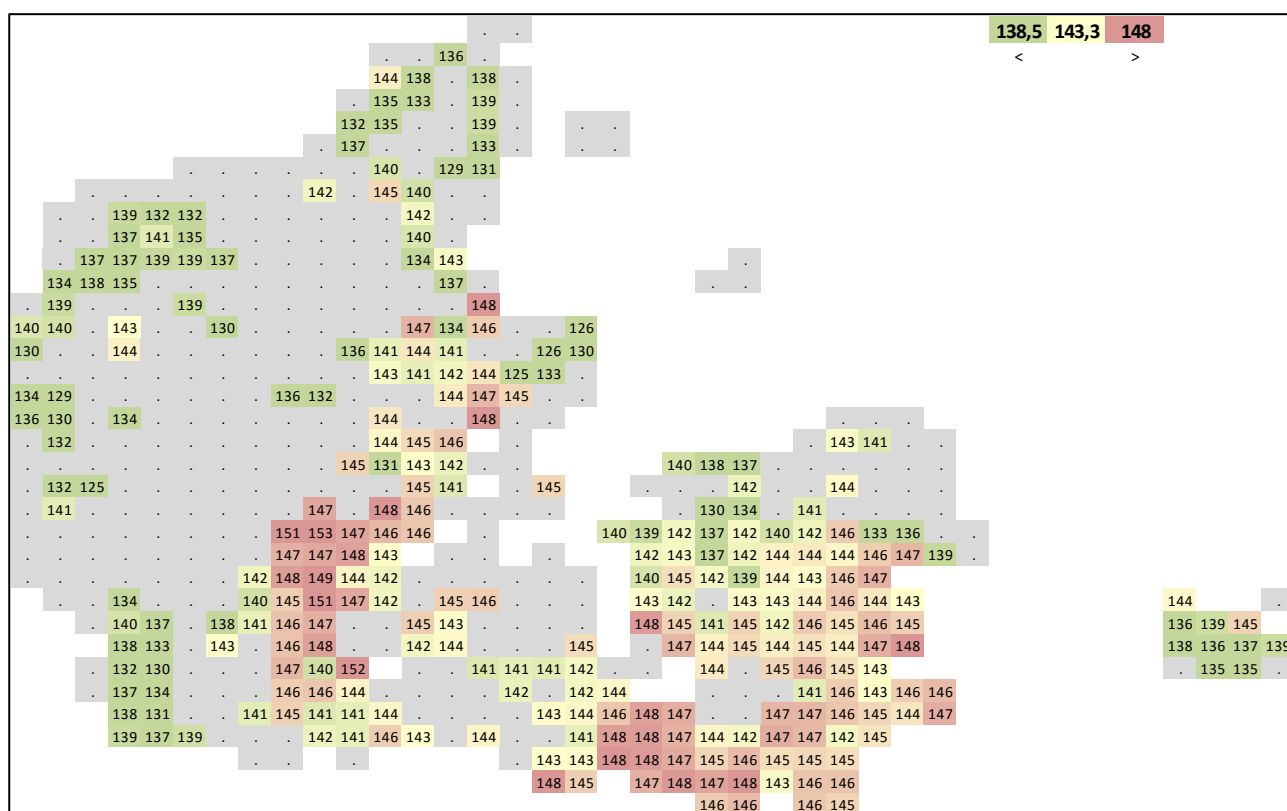
Figur 5.3 Optimal kvælstoftildeling (x^{**}) (kg N pr. ha) til vårbyg på JB13 med eftervirkning af organisk gødning.



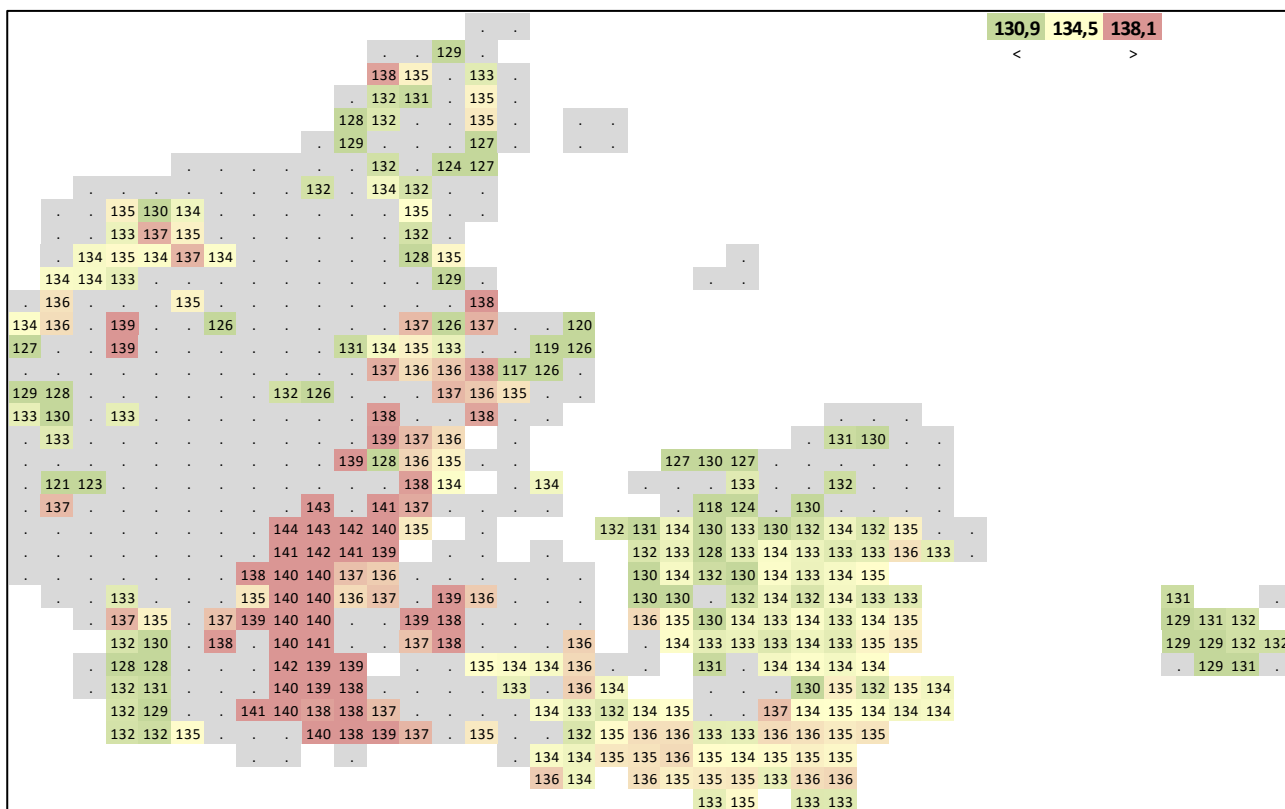
Figur 5.4 Optimal kvælstoftildeling (x^{**}) (kg N pr. ha) til vårbyg på JB24 med eftervirkning af organisk gødning.



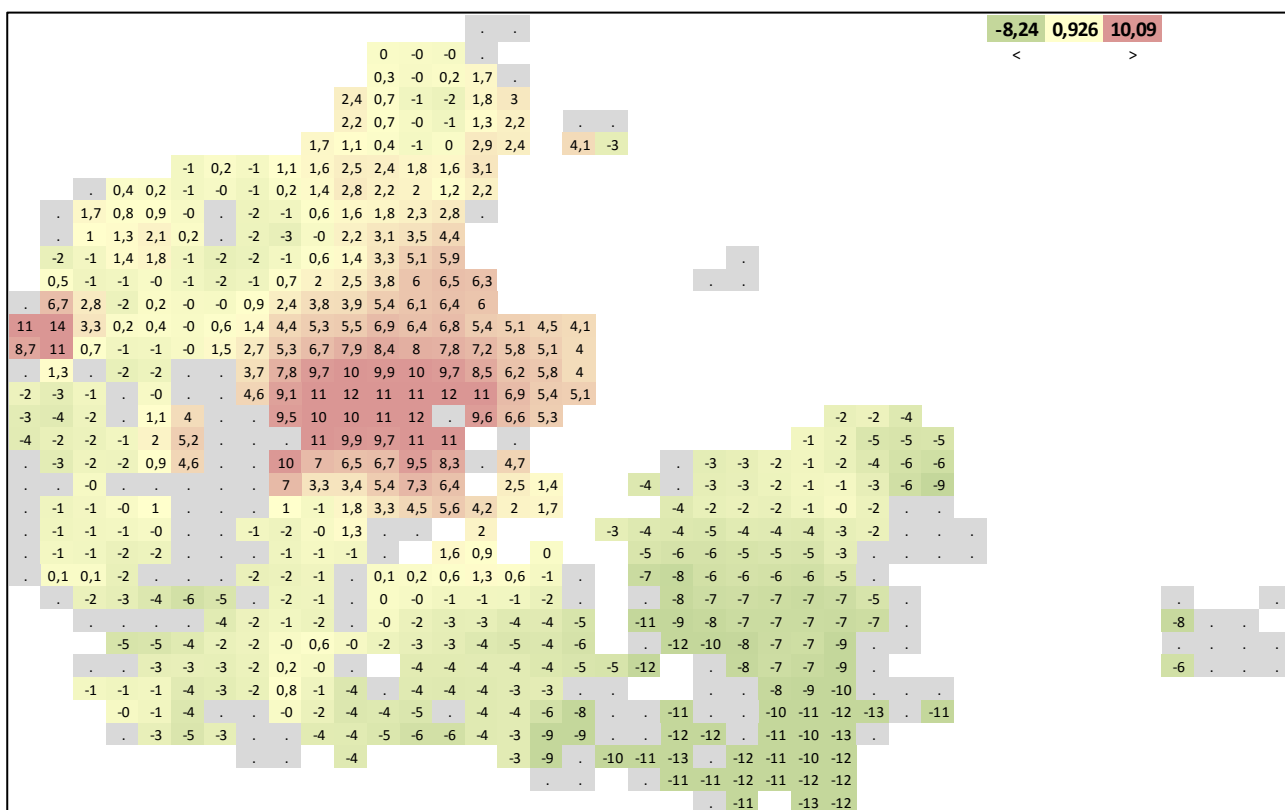
Figur 5.5 Optimal kvælstoftildeling (x^{**})(kg N pr. ha) til vårbyg på JB56 med eftervirkning af organisk gødning.



Figur 5.6 Optimal kvælstoftildeling (x^{**})(kg N pr. ha) til vårbyg på JB79 med eftervirkning af organisk gødning.



Figur 5.7 Optimal kvælstoftildeling (x^*)(kg N pr. ha) til vårbyg JB79 uden proteinværdi og eftervirkning.



Figur 5.8 Ex post korrektion til 10 års optimal tildeling (x^{**})(kg N pr. ha) for vårbyg JB24 2016.

For den rumlige fordeling af ex post korrektion til optimal tildeling 2016 for JB24 er det nedbør over gennemsnittet for april, der betinger det øgede kvælstofbehov i området Århus, Silkeborg, Viborg, Randers, og nedbør under gennemsnittet for maj, der betinger det mindskede behov på Sydsjælland, Lolland og Falster (Figur 5.8).

Tabel 5.4 viser arealvægtet, modelberegnet Y , x_0 , m , x^* og x^{**} for seks jordtyper samt x^* og τ beregnet på grundlag af disse arealvægtede værdier med anvendelse af Afsnit 2 (Ligning 19) samt Ligning 29. Dif angiver afvigelsen på x^* beregnet med formel og med NREMO.

Tabel 5.4 Arealvægtet, modelberegnet Y , x_0 , m , x^* for vårbyg på seks jordtyper samt formeludledte x^* , α , τ og nettotab (lille tabel yderst til højre)(kr. pr. ha) ved en relativ normreduktion på 5-18 pct. beregnet med disse arealvægtede værdier ved en kernepris på 125 kr. pr. hkg og en kvælstofpris på 7,78 kr. pr. kg N.

	Kerne Y	x_0	m	x^*	m. formel	dif	α^{-1}	τ Y	5%	10%	15%	18%	dif 18%
Humus	58,4	135,8	254,9	79,2	87,0	7,8	1013	0,121	2	9	21	30	22
JB1-4 vandet	69,0	70,7	241,1	144,8	146,2	1,4	767	0,160	9	34	77	111	10
JB13uv	67,3	94,3	240,1	118,6	121,1	2,5	779	0,158	6	23	52	75	14
JB24uv	67,7	95,5	240,5	117,8	120,4	2,6	778	0,158	6	23	52	74	14
JB56	72,7	81,5	240,3	135,0	136,0	1,0	722	0,170	8	31	71	102	7
JB79	76,5	83,4	240,7	135,5	135,5	0,0	689	0,179	8	33	74	106	0
Gns.	69,7	87,1	241,0	128,0	129,9	1,9	758	0,162	7	27	62	89	12

Tabel 5.5 viser arealvægtet, modelberegnet Y , m , N , M x^{**} for seks jordtyper samt formeludledte x^{**} , τ ’er og nettotab ved en relativ normreduktion på 5-18 pct. Dif angiver afvigelsen på x^* beregnet med formel og med NREMO. Dif angiver afvigelsen på x^{**} beregnet med henholdsvis formel og med NREMO, mens dif 18% angiver afvigelsen på nettotab ved 18 pct. normreduktion (kr. pr. ha) beregnet med henholdsvis formel (hvor $\tau = \tau Y + \tau N$) og ved fuld gennemregning med responsfunktion for kerne og protein.

Tabel 5.5 Arealvægtet, modelberegnet Y , m , N , M x^{**} for vårbyg på seks jordtyper samt formeludledte x^{**} , τ ’er og nettotab (lille tabel yderst til højre)(kr. pr. ha) ved en relativ normreduktion på 5-18 pct. beregnet med disse arealvægtede værdier ved en proteinpris på 3 kr. pr. kg, en kernepris på 101 kr. pr. hkg og en kvælstofpris på 7,78 kr. pr. kg N.

	Kerne Y	m	Kerne N	M	x^{**}	m. formel	dif	τ Y	τ N	$\tau Y+N$	5%	10%	15%	18%	dif 18%
Humus	58,4	255	94,8	443	92,7	97,2	4,5	0,098	0,016	0,114	2	10	22	32	17
JB1-4 vandet	69,0	241	116,8	422	159,9	158,9	-1,0	0,129	0,022	0,151	10	39	87	125	-9
JB13uv	67,3	240	111,7	427	131,6	132,3	0,8	0,127	0,021	0,147	6	26	57	83	5
JB24uv	67,7	240	113,1	425	131,6	131,9	0,2	0,127	0,021	0,148	6	26	58	83	2
JB56	72,7	240	119,7	416	147,8	147,6	-0,2	0,137	0,023	0,160	9	35	79	113	-2
JB79	76,5	241	123,7	411	147,2	146,6	-0,6	0,143	0,025	0,168	9	36	82	118	-5
Gns.	69,7	241	115,8	422	141,4	141,5	0,1	0,130	0,022	0,152	8	30	68	99	1

6 Sammenligning af forfrugt og kvælstofnormer for vårbyg

I dette afsnit sammenlignes forfrugtsværdier og optimal kvælstoftildeling for vårbyg indstillet af hhv. Normudvalget og beregnet med NREMO. I modsætning til vinterhvede er der, som nævnt i Afsnit 5, ikke fundet signifikante, prognoseegnede parametre som fx udvaskning eller vintertemperaturer for vårbyg.

I Tabel 6.1 ses en sammenligning af de NREMO-estimerede forfrugtsværdier for vårbyg med de forfrugtsværdier, der er anvendt ved normindstilling 2018/19. Forfrugtsværdi for kartofler og sukkerroer er beregnet med NREMO, men fremgår ikke af Tabel 5.2, da de ikke er signifikant forskellige fra nul.

Tabel 6.1 Forfrugtsværdier for økonomisk optimal kvælstoftilførsel til vårbyg med 75 pct. proteinindregning (x^{**}) samt forfrugtsværdier benyttet ved indstilling af normer for planperioden 2018/19 (Normudvalget, 2018).

Forfrugt	Sukkerroer	Kartofler	Kløvergræs
Observationer (NREMO)	85	21	19
NREMO-forfrugtsværdi, kg N pr. ha	-10	10	-105
Forfrugtsværdi indstilling 2017/18, kg N pr. ha	-10	0	-102

Den estimerede forfrugtsværdi af sukkerroer er i overensstemmelse med Drejebogen (Normudvalget 2018), om end den ikke er signifikant i modellen ($P=0.08$). Kartofler som forfrugt er ikke signifikant i modellen ($P=0.18$). Hvis den alligevel inddrages, estimeres forfrugtsværdien til et merbehov på 10 kg N pr. ha, hvorimod den er 0 i normsystemet. Forfrugtsværdien af kløvergræs estimeres til være 105 kg N pr. ha, hvilket er i god overensstemmelse med Drejebogen (Normudvalget, 2018).

I NREMO indgår forforfrugtsværdier, og for vårbyg er forforfrugtsværdien af græs, dvs. værdien af, at der har været græs i sædskiftet 2-5 år forud for forsøget, stærkt signifikant og har en værdi på henholdsvis 37 og 38 kg N pr. ha i vårbyg uden og med protein indregnet (Tabel 5.2).

I Tabel 6.2 og Tabel 6.3 sammenlignes optimal tildeling til vårbyg beregnet med NREMO for seks jordtyper i 2017/18 med de tilsvarende normer indstillet af Normudvalget hhv. uden og med udbyttekorrektion.

Tabel 6.2 NREMO-beregninger uden udbyttekorrektion og normer indstillet af Normudvalget for 2017/18.

Jordtype	Økonomisk optimal tildeling med protein (x^{**}) NREMO	Udbytte ved økonomisk optimal tildeling NREMO	Indstilling, 2017/18	Udbyttенorm, indstilling 2017/18	Forskel mellem NREMO og indstillingen
	kg N pr. ha	hkg pr. ha	kg N pr. ha	hkg pr. ha	kg N pr. ha
JB 11, humus	94	62	137	52	-43
JB 1+3, uvandet	133	77	141	45	-8
JB 2+4, uvandet	134	76	137	52	-3
JB 1-4, vandet	162	76	159	57	3
JB 5-6	150	77	145	64	5
JB 7-9	149	77	151	68	-2

Tabel 6.3 NREMO-beregninger med udbyttekorrektion og normer indstillet af Normudvalget for 2017/18.

Jordtype	Økonomisk optimal tildeling med protein (x**) NREMO	Udbytte ved økonomisk optimal tildeling NREMO	Indstilling, 2017/18	Udbyttенorm, indstilling 2017/18	Økonomisk optimal med protein (x**) NREMO udbyttekorrigeret til udbyttенorm	Forskel mellem NREMO og indstillingen
	kg N pr. ha	hkg pr. ha	kg N pr. ha	hkg pr. ha	kg N pr. ha	kg N pr. ha
JB 11, humus	94	62	137	52	106	-31
JB 1+3, uvandet	133	77	141	45	134	-7
JB 2+4, uvandet	134	76	137	52	137	0
JB 1-4, vandet	162	76	159	57	157	-2
JB 5-6	150	77	145	64	153	8
JB 7-9	149	77	151	68	153	2

Det fremgår af Tabel 6.2 og 6.3, at der er en god overensstemmelse mellem optimal tildeling til vårbyg for de seks jordtyper i 2017/18 beregnet med NREMO med de tilsvarende normer indstillet af Normudvalget.

7 Diskussion og perspektivering

Perspektiv og begrænsninger

Der er flere grunde til, at normer beregnet med nærværende analyse (NREMO) og normerne i LBST (2018) kan afvige. I normsystemet benyttes anden- eller tredjegradspolynomium som responsfunktion, mens der er benyttet en responsfunktion, som er sammensat af et andengradspolynomium og en invers kvadratisk funktion (IQP2) i denne analyse. Desuden fastsættes forfrugtsværdier og jordtypekorrektur med drejebogen ikke ud fra en direkte sammenligning af forsøgsresultater med forslaget til indstilling af normer i normsystemet, mens de med den nye metode beregnes ved lineær regression og mindste kvadraters metode på forsøgene. Uanset hvilken metode der benyttes, kræver det mange forsøg at kunne fastsætte sikre, statistisk velfunderede forfrugtsværdier og normer pr. jordtype. Et sådant tilstrækkeligt grundlag vurderes at være til stede for vinterhvede og vårbyg. Det vil derfor være vanskeligt med samme metode at validere normindstillingerne for andre afgrøder end vinterhvede og vårbyg.

Yderligere begrænsninger og forbehold

Der er mange andre variable end dem, der er inkluderet i modellen, der kan have stor betydning for afgrødernes udbyttepotentiale og kvælstofrespons. Kvælstofstrategier (to eller tre tildelinger, ikke altid 50 kg N i første tildeling, placeret gødning), dyrkningsform (pløjefri dyrkning, direkte såning, traktose, økologi), hvedesorter (brødhvede, sygdomsresistens) og svampebekæmpelsesstrategier, grundgødskning (pH og kalk samt udbyttebegrænsende P og K), mikronæringsstoffer (manganmangel etc.), lejesæd og vækstregulering er eksempler på sådanne faktorer. Det er for alle forsøgene som udgangspunkt antaget, at der er tale om foderkorn (ikke særlige brødhvedesorter), at forsøgene er pløjede og ikke vækstregulerede, men velplejet med hensyn til P, K, kalkning, mikronæringsstoffer, ukrudts- og svampebekæmpelse.

Der er i de anvendte forsøg benyttet tildelingsstrategier, hvor der med den første strategi altid tildeles 50 kg N pr. ha ved den første tildeling, mens der med den anden strategi som minimum tildeles 50 kg N pr. ha ved den første tildeling, men ellers det halve af den samlede tildeling. Ved en samlet tildeling på fx 250 kg N pr. ha kan tildelingen være 50 plus 150 med den første strategi og 125 plus 125 med den anden strategi. Det er i de gennemførte analyser, lige som i normindstillingerne med videre, antaget men ikke kontrolleret, at forskellen på de to strategier er uden betydning for udbyttepotentiale, kvælstofrespons og proteinprocent med videre.

Modelberegnet kvælstofudvaskning har vist sig at være en signifikant parameter til forståelse af afgrødernes kvælstofbehov. Det er derfor så meget vigtigere at bemærke, at udvaskningen ikke er fuldt gennemregnet for de enkelte forsøg, men er beregnet med antagelse af ens C/N-forhold for hele landet, altid handelsgødet vinterhvede som forfrugt, og i stedet for tekstur- og afgrødebestemt perkolation er benyttet simpelt beregnet nettonedbør. Herved er det muligt at isolere forfrugtsværdier og eftervirkning af husdyrgødning til få eksplicitte parametre, der nemt kan sammenlignes og valideres. Gennemførte beregninger af udvaskningen vil formentlig kunne styrke modellen og dens anvendelse til prognoseformål.

Modellen giver dels en ikke forventet udbyttenedgang for vanding, dels en ikke forventet prognoseeffekt for grovsandet jord. Modellens håndtering af vanding samt signifikans af modellens kvælstofprognose for grovsandet jord bør derfor valideres.

8 Referencer

- Adhikari, K., Bou Kheir, R., Greve, M.B., Bøcher, P.K., Malone, B. P., Minasny, B., McBratney, A.B., Greve, M.G. (2013). High-Resolution 3-D Mapping of Soil Texture in Denmark. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 860-876.
- Knudsen L. (2015). Gødskning. Stigende mængder kvælstof. Oversigt over Landsforsøgene 2015. SEGES. https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Landsforsoeg-og-resultater/Oversigten-og-tabelbilaget/Sider/Oversigten_Landsforsoegene_2015_web.pdf?download=true
- Kristensen, K., Waagepetersen, J., Børgesen, C.D., Vinter, F.P., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G. (2008). Reestimation and further development in the model N-LES – N-LES₃ to N-LES₄. DJF Plant Science no. 139
- LBST (2017). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2017 til 31. juli 2018. Miljø- og Fødevareministeriet. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_2017-2018.pdf
- LBST (2018). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2018 til 31. juli 2019. 1. revision, maj 2018. Miljø- og Fødevareministeriet. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_2018_2019_1version.pdf
- NaturErhvervstyrelsen (2015). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2014 til 31. juli 2015. Revideret 10. februar 2015. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. http://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_2014-2015.pdf
- Normudvalget (2018). Procedurer for indstilling af kvælstof- og udbyttенormer. http://dca.au.dk/fileadmin/user_upload/normudvalg/Drejebog_Normudvalget.pdf
- Paris, Q. (1992). The von Liebig Hypothesis. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 74, No. 4 (Nov., 1992), pp. 1019-1028 <https://www.jstor.org/stable/1243200>
- Pedersen, C.Å. (2006). Oversigt over Landsforsøgene. https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/landsforsoeg-og-resultater/oversigten-og-tabelbilaget/sider/oversigt_over_landsforsoegene_2006.aspx
- Pedersen, J.B. (2002). Oversigt over Landsforsøgene. https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Landsforsoeg-og-resultater/Oversigten-og-tabelbilaget/Sider/Oversigten_2002.aspx
- Pedersen, J.B. (2016). Oversigt over Landsforsøgene. https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Landsforsoeg-og-resultater/Oversigten-og-tabelbilaget/Sider/pl_oversigten_landsforsoegene_2016_web.pdf
- Petersen, J., Sørensen, P. 2008. Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning – Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav. DJF Markbrug nr. 138.
- Scharling M. (2013). Climate Grid Denmark. Dataset for use in research and education. Daily and monthly values 1989-2010. DMI teknisk rapport No. 12-10. <http://beta.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr12-10.pdf>
- SEGES (2018). Drejebog for udarbejdelse af kvælstofprognosen. April 2008 – opdateret september 2018.
- Sortinfo (2017). <https://sortinfo.dk/Oversigt.asp>

- Styczen, M., Abrahamsen, P. (2017). Årsager til faldende proteinindhold i kerne fra ca. 1990 til 2015. Modelanalyse og resultater. https://plen.ku.dk/nyheder/nyheder-2017/forskere-opklarer-aarsagen-til-dalende-proteinindhold/Rapport_Proteinindhold.pdf
- Vinther, F.P., Kristensen, K. (2012). Kvælstofreducerende tiltags effekt på kvælstofprognosen. [https://pure.au.dk/ws/files/96442908/Vedr. Kv lstofreducerende tiltags effekt p kv lstofprognosen 211212.pdf](https://pure.au.dk/ws/files/96442908/Vedr._Kv_lstofreducerende_tiltags_effekt_p_kv_lstofprognosen_211212.pdf)
- Vinther, F.P., Olsen, P. (2018). Næringsstofbalancer og næringsstofoverskud i landbruget 1996/97-2016/17. [http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapportN %C3 %A6ringsstofbalancerweba1.pdf](http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapportN%C3%A6ringsstofbalancerweba1.pdf)
- Værge A.B. (2015). Udvikling af vinterhvedesorter over 30 år i Danmark (1984-2014). Development of winter wheat cultivars in Denmark over the last 30 years (1984-2014). [http://library.au.dk/fileadmin/www.bibliotek.au.dk/fagsider/jordbrug/Specialer/Udvikling af vinterhvedesorter_.pdf](http://library.au.dk/fileadmin/www.bibliotek.au.dk/fagsider/jordbrug/Specialer/Udvikling_af_vinterhvedesorter_.pdf)

Bilag 1. Uddledning af formel til beregning af tab ved reduceret kvælstoftildeling

Nettoudbytte ved tildeling af kvælstof x i produktionsøkonomisk fase II kan med IQP2 beregnes med følgende formel (Ligning 19):

$$\pi = pY \left(\frac{2(x+x_0)}{m} - \left(\frac{(x+x_0)}{m} \right)^2 - q^2 \right) / (1 - q^2) - wx$$

Økonomisk optimal kvælstoftildeling x^* kan med opfyldelse af førsteordensbetingelsen $\frac{d\pi}{dx} = 0$:

$$x^* = m \left(1 - \frac{wm(1-q^2)}{2pY} \right) - x_0$$

Når det for overskuelighedens skyld vælges at sætte x_0 og $q = 0$ gælder:

$$\pi = pY(2x - x^2) - wx$$

$$x^* = m \left(1 - \frac{wm}{2pY} \right)$$

Når kvælstoftildelingen x reduceres med en given mængde kvælstof Δ kan ændringen i nettoudbyttet T , udledes således:

$$T = \pi(x) - \pi(x - \Delta)$$

Når

$$\pi(x) = pY2x - pYx^2 - wx$$

$$\pi(x - \Delta) = pY2x - pY2\Delta - pY(x^2 + \Delta^2 + 2\Delta x) - wx + w\Delta$$

gælder

$$T = pY2x - pY2\Delta - pY(x^2 + \Delta^2 + 2\Delta x) - wx + w\Delta$$

\Leftrightarrow

$$T = \frac{2pY}{m} \Delta - \frac{pY}{m^2} \Delta^2 - \frac{2pY}{m^2} \Delta x - w\Delta$$

Ved optimal tildeling er $x = x^*$ og leddet $\frac{2pY}{m^2} \Delta x$ kan derfor omskrives til $\frac{2pY}{m} \Delta - w\Delta$ og dermed gælder:

$$T = \frac{2pY}{m} \Delta - \frac{pY}{m^2} \Delta^2 - \left(\frac{2pY}{m} \Delta - w\Delta \right) - w\Delta$$

\Leftrightarrow

$$T = -\frac{pY}{m^2} \Delta^2$$

Ændring i nettoudbytte hvor også $q > 0$:

\Leftrightarrow

$$T = -\frac{pY}{m^2(1-q^2)} \Delta^2$$

Nyttig agronomisk værdi α (alfa) til beregning af ændring i nettoudbyttet ved reduceret kvælstoftildeling

$$\alpha = \frac{Y}{m^2(1-q^2)} \text{ [kr. pr. hkg / (kg N pr. ha)}^2\text{]}$$

Og dermed

$$T = -p\alpha\Delta^2 \text{ [kr. pr. ha]}$$

Når kvælstoftildelingen reduceres med en given mængde kvælstof Δ i forhold til det økonomisk optimale kan det økonomiske tab T beregnes:

$$T = p\alpha\Delta^2 \text{ [kr. pr. ha], hvor } \alpha = \frac{Y}{m^2(1-q^2)} \text{ [hkg pr. ha / (kg N pr. ha)}^2\text{]}$$

Og dermed

$$T = \tau\Delta^2 \text{ [kr. pr. ha], hvor } \tau = \frac{pY}{m^2(1-q^2)} \text{ [kr. pr. ha / (kg N pr. ha)}^2\text{]}$$

	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Kilde: Sortinfo samt Oversigt over Landsforsøgene (mange årgange). Se også Væрге (2015).

Bilag 3. Forholdstal for kerneudbytte i vårbygsorter 1987-2017.

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Alis	100	101																													
Triumph	98	94																													
Natasha	101	94	95																												
Sewa	103	99	98																												
Abelone		100																													
Lina		100																													
Grit	102	98	97	98																											
Regatta	104	103																													
Prisma			94																												
Canor			98	97																											
Escort		103				95																									
Blenheim			102	102	103	100	96																								
Lenka			101	104	95																										
Ariel					98																										
Digger			104	103	95	97	97																								
Jarek						98																									
Teal						91																									
Canut			106				104	98																							
Vintage							103	100	102																						
Alexis			103	98	97	101	97	98	100	101	96	94	94	95																	
Maresi							103	101																							
Etna								99																							
Krona								93																							
Nevada								102																							
Maud								96	101	98	99																				
Fgoldi										100																					
Goldie							105	100	102	98			96																		
Meltan							104	98	96	97	97	92	97																		
Lamba								105	104	99	98	97	94																		
Cork		100								105	102	101	103	97	102	100															
Ferment										103	103	99	101	95																	
Henni										107	107	103	102	98																	
Mentor										103	100	98	99	95																	
Optic										104	102	99	96	97																	
Paloma										105	102	100	98	94																	
Tofta										104	100	98	97	91																	
Bartok										104	101	103	100	99	99																
Punto										102	100	101	99	98	99																
Jacinta											106	104	104	101																	
Linus											103	100	99	91																	
Orthega											102	102	101	102																	
Lux											103	101	103	97	103																
Annabell												105	108	106																	
Cecilia												98	101	96																	
Chamant												96	93	95																	
Lysiba												91	90	87																	
Potter												100	100	98																	
Prolog												99	103	100																	
Roxana												98	99	99																	
Saloon												103	101	101																	
Wren													97																		
Bond											107	103	101	102																	
Akita												103	99																		
Alabama												103	100																		
Aspen													100	98																	
Charlotte												102	98																		
Fusion												104	101																		
Nizza												100	96																		
Pasadena												103	99																		
Prominant												98	97																		
Viskosa												103	100																		
Abed 6211													99																		
Danuta													102																		
Finale													101																		
Hanka													95																		
Jersey													102																		
Madras													99																		
MH-YN													98.5																		
Model													95																		
NFC 498-													102																		
NSL 97-													101																		
Philadelphia													100																		
Respons													105																		
SI 203017													97																		
SI 957062													95																		
Thrift													102																		
Wikingett													97																		
Barke									100	97	98	97	99	96	96	96	93	93	91												
Scarlett									100	97	97	97	98	91	91	87	85														
Odin												102	103			94															
Dialog												102	99				102														
Neruda												103	104				99														
Otira										106	106	104	102	102	102	103	105	105	101	100											

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

[illegible]

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

[illegible]

Kilde: Sortinfo samt Oversigt over Landsforsøgene (mange årgange).